N° D'ORDRE
9

THÈSE

PRÉSENTÉE A LA

FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX

POUR OBTENIR

LE TITRE D'INGÉNIEUR-DOCTEUR

PAR

Jean DALIX

INGÉNIEUR-CHIMISTE E. C. B.

Soutenue le 29 Juin 1936 devant la Commission d'examen.

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DU FONCTIONNEMENT

DES

Différentes Cathodes à Emission Thermoélectronique

Président	MM. MERCIER, professeur.
Examinateurs . . .	DAURE, professeur.
	TRUCHET, professeur.

LESSINES
IMPRIMERIE VAN NIEUWENHOVE
Grand'Rue, 49 - Tél. 153

1936

ERRATA.

Page 16. — Tableau N° 2.

5me colonne lire B $\times$ 10-4.

6me colonne lire. Potentiel d'extraction Θ en volts.

Page 17. — Tableau 3, colonne 5, lire Θ volts.

Page 18. — Lire. L'émission serait 10^3 fois plus forte.

Page 41. — Ligne 31. Lire. Sont volatisés au lieu de volatilisé.

Page 61. — Lire. 7.56×10^{14}.

Page 66. — Lire. Fig. N° 19.

Page 82. — Ligne 9. Lire. De la cathode au lieu de la cathodes.

Page 133. — Ligne 12. Lire. Isolement au lieu de insolement.

F. 1.

N° D'ORDRE
9

THÈSE

PRÉSENTÉE A LA

FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX

POUR OBTENIR

LE TITRE D'INGÉNIEUR-DOCTEUR

PAR

Jean DALIX

INGÉNIEUR-CHIMISTE E. C. B.

Soutenue le 29 Juin 1936 devant la Commission d'examen.

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DU FONCTIONNEMENT

DES

Différentes Cathodes à Emission Thermoélectronique

Président	MM.	MERCIER, professeur.
Examinateurs . . .		DAURE, professeur.
		TRUCHET, professeur.

LESSINES

IMPRIMERIE VAN NIEUWENHOVE

Grand'Rue, 49 - Tél. 153

1936

Faculté des Sciences de l'Université de Bordeaux

MM.

Doyen	CHAINE . . .	Anatomie comparée et Embryogénie.
Doyens honoraires.	PADÉ . . .	Recteur honoraire de l'Académie d'Aix.
	PICART . . .	Astronomie.
	DUPONT. . .	Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.
Professeurs honoraires.	BÉNARD	
	SAUVAGEAU	
	BOUNHIOL	
	DEVAUX	
	RICHARD	
	DUPONT	
Professeurs . . .	PICARD . . .	Astronomie.
	GUINCHANT .	Physique générale.
	CHAINE . . .	Anatomie comparée et Embryogénie.
	TROUSSET . .	Mécanique rationnelle.
	MERCIER. . .	Physique expérimentale.
	FEYTAUD . .	Zoologie et Physiologie animale.
	DAGUIN . . .	Géologie et minéralogie.
	DAURE . . .	Physique.
	DANGEARD . .	Botanique.
	GENEVOIS . .	Physiologie végétale et chimie biologique
	MILLOUX . .	Calcul infinitésimal et Analyse supérieure
	TRUCHET . .	Chimie organique.
	N	Chimie minérale et Chimie physique,
Chargé de cours .	QUÉLET . . .	chimie minérale et chimie physique.
Maître de conférences honoraire . .	MANVILLE	
Maître de conférences	AVEL. . . .	Zoologie.
	BRUS. . . .	Chimie.
	CHOUARD . .	Botanique.
Maître de conférences-adjoint. . . .	ARRIVAUT	
Secrétaire	ARTIGUELONG	

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

CHAPITRE I

Exposé d'ensemble

A. — CONSIDERATIONS GENERALES.

Les diodes, triodes, et lampes à électrodes multiples qui existent actuellement dans le commerce ont été l'objet, depuis plusieurs années, de perfectionnements incessants.

Au début, les diodes existaient seules ; plus tard, on construisit des tubes à une seule grille, puis des bigrilles et aujourd'hui, la fabrication des multigrilles est courante.

Ces perfectionnements rapides sont dûs à trois catégories de recherches :

a) aux recherches faites sur l'émission électronique.

b) aux recherches faites pour l'amélioration de la lampe.

c) aux recherches faites pour obtenir les métaux et les composés métalliques donnant la plus forte émission électronique.

a) Historique des recherches faites sur l'émission électronique.

En 1904, Fleming obtint un courant électrique dans un circuit reliant le filament d'une lampe à incandescence à un cylindre métallique entourant ce filament. Il constata que ce courant ne passait que dans un seul sens.

En 1906, de Forest refit la même expérience mais, ayant intercalé dans le circuit une pile électrique (le positif de cette

pile étant sur le cylindre), il constata une augmentation sensible du courant.

Plus tard, de Forest ajouta une grille à son dispositif qui n'était autre qu'une diode et obtint la première triode. Il pouvait faire varier ainsi à sa volonté, le champ à l'intérieur de la lampe.

Jusqu'en 1914, les lampes fabriquées furent soit à vide, soit à gaz.

Monsieur ABRAHAM construisit, en 1914-1915, la première lampe à vide qui fut vraiment pratique. Elle est connue sous lenom de lampe T. M. C'est une lampe à « **filament** » de tungstène, à « **grille** » de molybdène et à « **plaque** » de nickel ; elle devait subsister presque seule jusqu'en 1923.

La réalisation de cette lampe orienta d'une façon presque définitive la technique de la construction vers la lampe à vide. On délaissa la lampe à gaz qui ne fut guère plus employée que dans les valves.

Ce fait est d'autant plus à remarquer que certains étaient partisans de l'émission par réaction chimique et prétendaient que l'émission était dûe à la réaction des gaz restants dans le tube sur le métal de la cathode.

Les recherches de Langmuir en Amérique démontrèrent d'ailleurs quelques années plus tard d'une façon irréfutable qu'il s'agissait d'une émission électronique caractéristique de la « **cathode** » employée et que la durée d'une cathode augmentait avec le degré de vide.

Cette découverte, à la base de toute l'émission électronique, orienta les recherches industrielles vers :

1°) l'obtention d'un vide très élevé.
2°) la découverte de métaux ou composés métalliques à forte émission électronique.

b) Historique des recherches faites pour l'amélioration de la lampe.

Ces recherches ont conduit à la réalisation de pompes peu fragiles et à débit considérable.

Après les pompes à l'huile simples à une palette, puis

doubles à deux palettes, nous vîmes, pour améliorer le vide, utiliser la pompe moléculaire de Gaëde.

Cette pompe, à grande vitesse de rotation, était très fragile. Elle fut remplacée par la pompe moléculaire Hollwoeck qui est du reste encore employée aujoud'hui dans de nombreuses entreprises.

Néanmoins, on tend à la remplacer par les pompes à diffusion. Ces pompes peuvent être amorcées sous des pressions facilement réalisables et certaines même par une trompe à eau. Elles ont un débit considérable et un vide limite très grand ; en outre, elles sont peu fragiles.

Munie de tous ces éléments, l'industrie pouvait donc obtenir dans les lampes des vides très élevés qui peuvent même dépasser le vide limite de la pompe employée si l'on utilise :

1° soit l'absorption des gaz par les électrodes qui se refroidissent,

2°) soit l'action des « getters ».

La première méthode est surtout employée pour les lampes dont les électrodes sont fortement chauffées sur pompe. On purge les électrodes et la pompe absorbe les gaz dégagés. Lorsque ces électrodes chauffées au rouge ne dégagent plus, on ferme la lampe. En se refroidissant, les électrodes réabsorbent une partie des gaz qui restent, ce qui améliore considérablement le vide.

Dans la seconde, on volatilise un « getter » à l'intérieur de l'ampoule pompée et fermée, c'est-à-dire une substance qui, en se condensant sur les parois, emprisonne une partie des gaz restants.

Avec ces vides très élevés, on était ainsi d'ailleurs dans de meilleures conditions pour étudier les phénomènes de l'émission électronique.

c) Historique des recherches faites pour obtenir les métaux ou les composés métalliques donnant la plus forte émission électronique.

Au début, les seuls filaments utilisés étaient en tungstène pur. Puis Wehnelt étudia les propriétés émissives des oxydes rapportés. En 1922, Langmuir donna les principes de la fabrication des

lampes à filament thorié et en 1928 apparurent sur le marché les lampes au baryum.

Les différentes cathodes, en tungstène pur ou thorié, à oxydes rapportés ou au baryum, ont des propriétés différentes. Elles ont des emplois bien déterminés et, chacune dans leur cadre, elles sont toutes utilisées. Il existe encore d'autres cathodes intéressantes, mais non réalisées industriellement; nous citerons celles au cœsium.

B. — GENERALITES SUR LA CONSTITUTION DE LA MATIERE.

Les découvertes que nous venons de passer rapidement en revue nous ont donc appris :

1°) que certains éléments et composés métalliques suffisamment chauffés émettent des électrons ;

2°) que ces électrons négatifs donnent naissance à un courant sous l'action d'un champ électrique. L'élément chauffant est la cathode, le collecteur de courant dans le tube est l'anode ;

3°) que ce courant varie si l'on modifie le champ électrique.

On peut d'ailleurs également le faire varier en faisant agir un champ magnétique.

Depuis les recherhes de Langmuir, nous savons que l'émission électronique est dûe au métal lui-même. Pour mieux nous rendre compte de ce qui se passe, il est bon de rappeler rapidement quelle est la constitution intime des différents corps.

On admet actuellement que les molécules des corps simples peuvent grouper un ou plusieurs atomes et que ces atomes comprennent un noyau de charge + Ne et N. électrons de charge —e ($e = 4{,}77.\ 10^{-10}$ UE.S.) qui sont disposés en «couches» superposées. Ce nombre N est le «**nombre atomique**» de l'élément considéré ; il dépend de la place occupée par l'élément dans le tableau de Mendeleieff.

Voici ci-contre, un tel tableau (tableau n°1) récemment publié : les corps sont classés par nombres atomiques croissants en lignes superposées de telle façon que dans une même colonne les différents éléments aient des propriétés semblables.

Tableau de MENDELEIEFF

Tableau 1.

Les numéros en caractère gras placés devant les symboles des éléments, représentent le nombre atomique.
Les numéros en caractères ordinaire placés en-dessous des symboles des éléments. représentent le poids atomique.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1	**1** H 1,008									**2** He 4,00
2	**3** Li 6,94	**4** Be 9,01	**5** B 11,0	**6** C 12,0	**7** N 14,01	**8** O 16,00	**9** F 19,0			**10** Ne 20,2
3	**11** Na 23,00	**12** Mg 24,32	**13** Al 27,1	**14** Si 28,3	**15** P 31,04	**16** S 32,06	**17** Cl 35,46			**18** Ar 39,88
4	**19** K 39,10	**20** Ca 40,07	**21** Sc 45,1	**22** Ti 48,1	**23** V 51,0	**24** Cr 52,0	**25** Mn 54,93	**29** Fe 55,84	**27** Co 58,97	**28** Ni 58,68
	29 Cu 63,57	**30** Zn 65,37	**31** Ga 69,9	**32** Ge 72,5	**33** As 74,96	**34** Se 79,2	**35** Br 79,92			**36** Kr 82,92
5	**37** Rb 85,45	**38** Sr 87,63	**39** Y 88,7	**40** Zr 90,6	**41** Nb 93,5	**42** Mo 96,0	**43** ?	**44** Ru 101,7	**45** Rh 102,9	**46** Pd 106,7
	47 Ag 107,88	**48** Cd 112,4	**49** In 114,8	**50** Sn 118,7	**51** Sb 120,2	**52** Te 127,5	**53** I 126,92			**54** X 130,2
6	**55** CS 132,81	**56** Ba 137,37	Terres rares		**73** Ta 181,5	**74** W 184	**75** ?	**76** Os 190,9	**77** Ir 193.1	**78** Pt 195,2
	79 Au 197.2	**80** Hg 200,6	**81** Tl 204,0	**82** Pb 207,20	**83** Bi 209,02	**84** Po (210)	**85** ?			**86** Mm (222,0)
7	**87** ?	**88** Ra 226,0	**90** Ac (226)	**90** Th 232,15	**91** Pa (230)	**92** U 238,2				
	Terres rares									
	57 La 139,0	**58** Ce 140,25	**59** Pr 140,9	**60** Nd 144,3	**61** ?	**62** Sm 150,4	**63** Eu 152,0	**64** Gd 157,3		
	65 Tb 159,2	**66** Ds 162,5	**67** Ho 163,5	**68** Er 167,7	**69** Tu I 168,5	**70** Ad 173,5	**71** Cp 175,0	**72** Tu II (178)		

Si l'on se place au point de vue électronique, on constate que ce ne sont pas les corps qui ont le plus d'électrons qui émettent forcément le plus : le coesium émet plus que le baryum ; ce dernier émet plus que le tungstène.

Toutefois, dans chaque «série» d'éléments, ce sont ceux qui ont le plus d'électrons qui émettent le plus. Le baryum émet plus que le strontium, le strontium émet plus que le calcium.

Dans l'émission électronique, pour séparer un électron de son noyau on doit effectuer un certain travail. On exprime celui ci le plus souvent en volts en se basant sur la relation suivante : $W = e\ V$. e est connu, c'est la charge élémentaire celle de tous les électrons soit $e = 4{,}77.\ 10^{-10}$ U.E.S. La valeur de V exprimée en volts peut donc définir le travail d'extraction aussi bien que W lui-même.

C. — GENERALITES SUR L'EMISSION ELECTRONIQUE DANS LES LAMPES DIODES ET TRIODES.

Dans une diode lorsque le filament est suffisament chauffé, les électrons, de charge négative se dirigent vers l'anode si celle-ci est positive. En augmentant progressivement la tension d'anode, le courant augmente d'abord suivant la loi énoncée par Langmuir ($i = K\ V^{3/2}$). Mais, à partir d'un certain moment, la tension d'anode continuant à augmenter, le courant recueilli croît de moins en moins vite pour finalement atteindre une valeur limite. Ce courant maximum représente l'émission totale de la cathode ; il est appelé courant de saturation. On obtient finalement une courbe caractéristique analogue à celle de la figure n° 1.

On a porté en ordonnée le courant débité, en abscisse le potentiel de l'anode. Si la température du filament augmente, la nouvelle caractéristique se superpose en partie à la première, mais la saturation est plus élevée. La figure n° 2 reproduit les courbes d'une valve à filament de tungstène et relatives à deux températures différentes.

Dans une triode, le courant dépend à la fois de la tension de la grille et de celle de la plaque. En général, les courbes sont faites à potentiel de plaque V constant et donnent le courant d'anode i en fonction du potentiel de grille u. Leur forme est la même que celles des courbes précédentes.

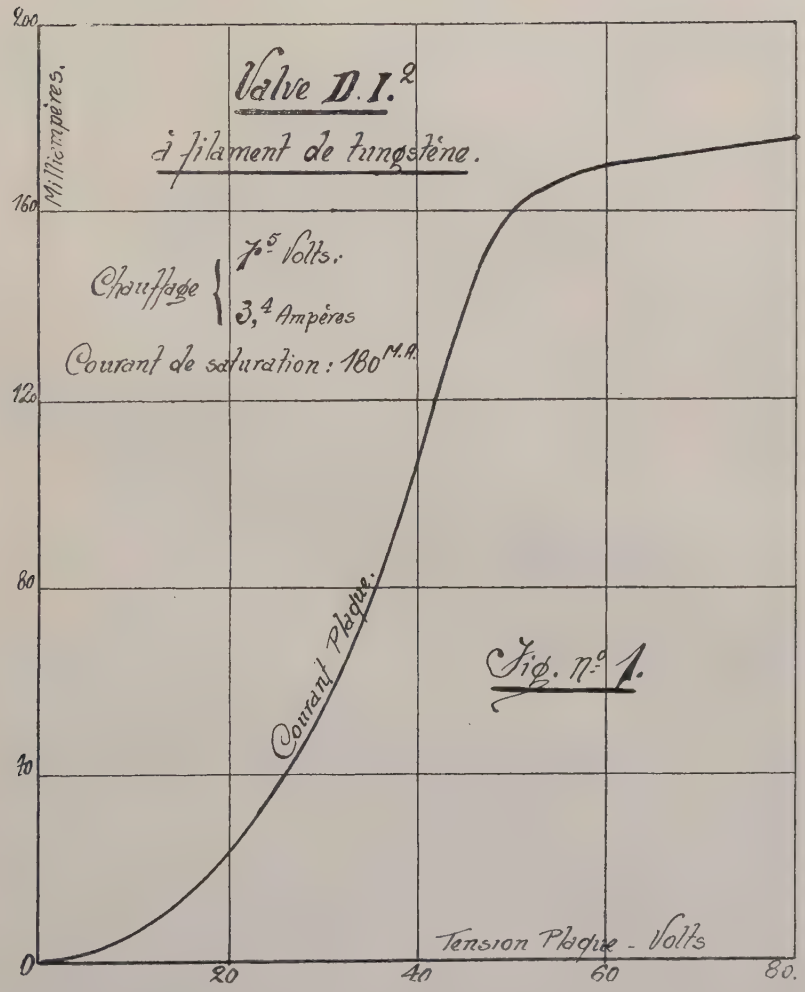

Valve D.I.2
à filament de tungstène.
Chauffage { 7,5 Volts.
3,4 Ampères
Courant de saturation : 180 M.A.
Milliampères.
200
160
120
80
40
0
Courant Plaque.
Tension Plaque - Volts
20
40
60
80.

Fig. n° 1.

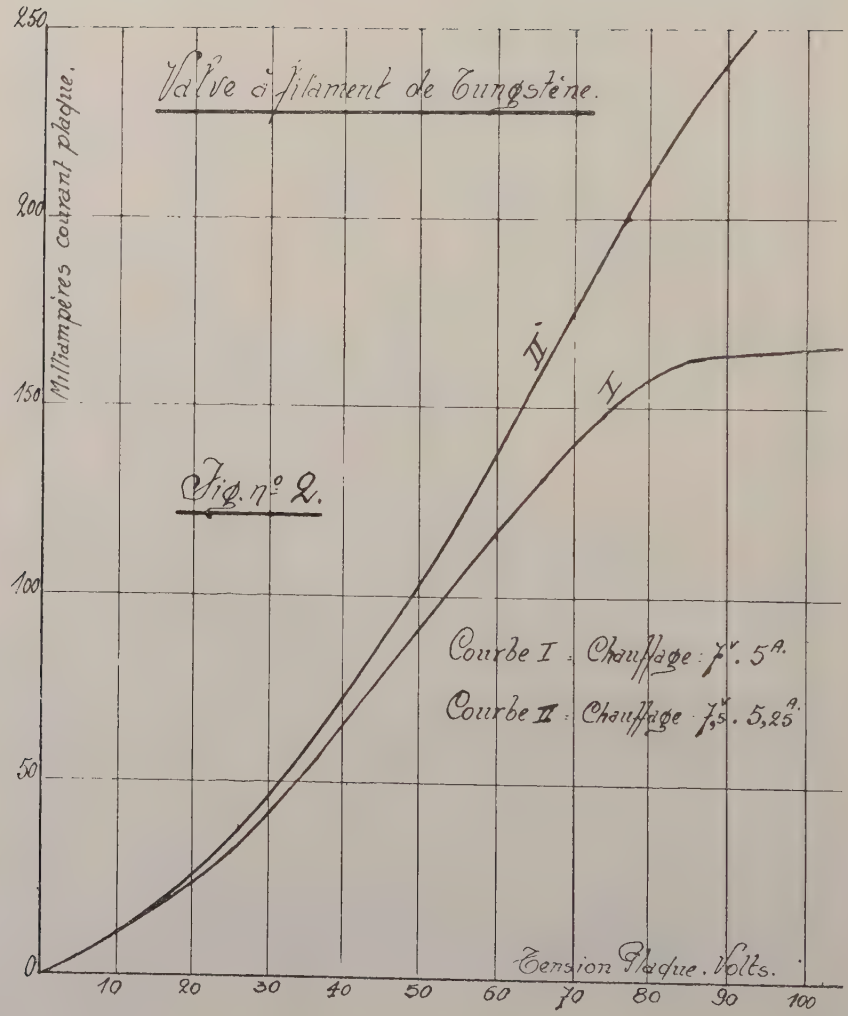
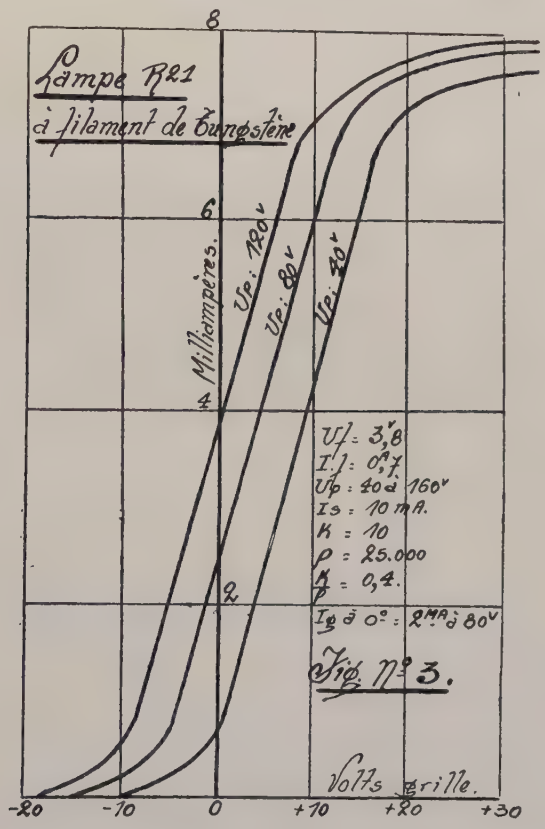

Valve à filament de Tungstène.
Milliampères courant plaque.
250
200
150
100
50
0
II
I
Courbe I : Chauffage : 7 V. 5 A.
Courbe II : Chauffage : 7,5 V. 5,25 A.
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Tension Plaque. Volts.

Fig. n° 2.

La figure 3 donne trois courbes relatives à une lampe T. M. R21. C'est une lampe à filament de tungstène, à grille en molybdène et plaque en nickel. En abscisse, nous avons porté les tensions de la grille et, en ordonnée, le courant débité sur l'anode. Il y a aussi un phénomène de saturation et la grille n'intervient pour rien dans la valeur de celle-ci. Dans une diode et dans une triode à cathodes identiques, la saturation est la même et ne dépend que de la température de la cathode.



La saturation dépend donc uniquement de la température du filament et de sa nature. C'est ce qu'a traduit Richardson dans la formule suivante appelée loi de Richardson et qui donne le courant de saturation I_s :

$$I_s = aT^{1/2} e^{-b/T} \qquad (I)$$

a et b sont des constantes caractéristiques du métal actif (filament),

T est la température absolue.

Des considérations thermodynamiques conduisent à une formule un peu différente :

$$I_s = A\ T^2\ e^{-B/T} \qquad (II)$$

et dans laquelle A et B sont de nouvelles constantes.

Toutefois, on se sert plus volontiers de la première formule et, dans notre exposé, nous ne tiendrons compte que de celle-là. D'ailleurs, le terme exponentiel est de beaucoup le plus important.

a) **Métaux.**

Le tableau 2 donne la valeur des diverses constantes pour différents métaux. (Les nombres ont presque tous été empruntés à DUSHAM et à RICHARDSON) Grâce à ce tableau, on a la possibilité de calculer l'émission d'un corps à toutes températures et les résultats sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus par l'expérience.

TABLEAU DES CONSTANTES FIGURANT DANS LES FORMULES DONNANT I_s EN AMP./cm^2

Tableau 2.

ÉLÉMENTS	a	b x 10^{-4}	A	B x 10^{-4}	Potentiel d'extraction en volts
Carbone.	2.37 x 10^6	4.87	5.93	4.57	3.93
Calcium.	1.74 x 10^4	3.65	0.12	3.50	3 02
Coesium			162.	2.10	1.81
Hafnium.			14.5	4 10	3.53
Molybdene. . . .	2.1 x 10^7	5 26	60.2	5.15	4.44
Nickel	4.61 x 10^6	3.40	26.8	3.21	2.77
Platine	11.5 x 10^6	5 11			6 27
Tantale	8.32 x 10^6	5.08	29.5	4.85	4.18
Tungstene	1.05 x 10^7	5 30			4.40
Thorium.	2 x 10^8	3.9	60.2	3.89	3.35
Zirconium			330.	4.79	4.13
Sodium	1.6 x 10^{12}	3.16			

Tous les auteurs ne sont du reste pas d'accord sur les valeurs des constantes. Boutaric dans La Physique Moderne et l'électron notamment en donne d'un peu différentes.

$\mathcal{O}$ est le travail d'extraction d'un électron exprimé en volts ($W = e\ V$). Il est donné pratiquement par l'expression :

8.65×10^{-5} B.

Il est clair, d'après ce tableau, que les émissions du tungstène, du tantale et du molybdène sont à peu près les mêmes. Celles du cœsium, du sodium, du thorium et du nickel sont bien supérieures. Les premières cathodes, celles dont nous venons de parler étaient en tungstène. Ses propriétés étaient connues déjà pour les lampes d'éclairage et son emploi était tout naturel. Plus tard cet élément a continué à servir comme support, à cause de son point de fusion élevé.

Le tantale et le molybdène ne présentent aucun avantage sur le tungstène. Le cœsium et le sodium sont difficiles à retenir sur la cathode. Le nickel n'a pas une émission suffisante au moment de sa fusion.

Le thorium peut être employé, mais sur un support en tungstène ; le filament est alors dit en tungstène-thorié.

b) **Oxydes.**

Certains oxydes sont aussi employés, mais plus spécialement les oxydes de baryum, de calcium et de strontium.

Ils sont fixés sur un support et leur émission est conforme à la loi de Richardson.

Voici, dans le tableau 3, quelques valeurs de a et de b données également par DUSHAM et RICHARDSON.

TABLEAU DES CONSTANTES DE LA FORMULE DE RICHARDSON POUR LES OXYDES.

Tableau 3.

OXYDES de	Formnle de l'oxyde	a	b x 10^{-4}	Volts
Aluminium .	Al^2O^3	3.3 x 10^5	4.58	3.95
Bore . . .	B^2O^3	1.2 x 10^5	4.81	4.15
Baryum . .	BaO	8 x 10^5	2.15	1 85
Beryllium . .	BeO	9.8 x 10^5	4.01	3.45
Calcium . .	CaO	4.8 x 10^6	2,78	2. 4
Magnesium .	MgO	8.5 x 10^6	3.49	3,01
Strontium . .	SrO	1.3 x 10^6	2.49	2.15
Silicium . .	SiO^2	1.6 x 10^6	5.57	4 8
Thorium . .	ThO^2	4.6 x 10^3	3.65	3.15
Titane . , .	TiO^2	4 x 10^4	4.54	4.00
Yttrium. . .	YT^2O^3	1.28 x 10^6	3.60	3,1
Zirconium. .	ZrO^2	1 x 10^5	4.18	3.6

Ce sont bien les oxydes de baryum, de calcium et de strontium qui émettent effectivement le plus à cause de la faible valeur de b.

Comme nous l'avons déjà remarqué, le terme exponentiel, le terme en b de la formule de Richardson est le plus important. Si b diminue, l'émission augmente. L'importance de a est moins grande ; cependant l'émission augmente en même temps que a et lui est proportionnelle.

Pour étudier l'influence de b, examinons le cas du nickel à 1200° K.

On a : $b = 3.40 \times 10^4$
et $\log. e^{-b_T} = \log. Z = 12.305.$
Pour une valeur de b deux fois plus petite, on aurait :
$\log Z^{1/2} = \frac{1}{2} \log. Z = 6.153.$
L'émission serait 10 fois plus forte.

QUELQUES DONNEES SUR LES LAMPES CONSTRUITES ACTUELLEMENT

Pour qu'une lampe soit pratiquement utilisable, il faut que son courant de saturation soit au moins de huit milliampères.

C'est ce que donne justement la lampe à filament de tungstène, type T. M., la R 21 modèle courant, dont on a donné les caractéristiques. Mais elle nécessite un courant de chauffage de 0 A 750, ou même plus et il est évident qu'il est difficile, avec de telles lampes, d'alimenter sur accumulateurs un récepteur ayant comme les postes actuels, 6 ou 8 lampes. Si le corps actif émettait davantage, on pourrait avoir au contraire la même émission à une température moins élevée ; le filament pourrait être plus fin, et, par conséquent, le
courant de chauffage plus faible et la puissance dissipée plus petite.

On fonctionne en général, pour les lampes de réception tout au moins, à voltage constant. On pourrait donc alors réduire le diamètre et augmenter la longueur du filament.

On a utilisé successivement des filaments de tungstène, de tungstène-thorié, puis des filaments à oxydes et au baruym. Dans la plupart des cas, le tungstène est utilisé comme support (tableau 4).

EMISSION COMPARÉE DES DIVERSES CATHODES

(Voltage aux bornes du filament : 4 volts)

Tableau 4.

CATHODES	Longueur du filament en millimètres	Diamètre du filament en millième de millimètres	Température en dégrés K absolus	Courant de saturaiion en m/mamp	Courant de chauffage en m/mamp.
Tungsteue	21	60	2400-2500	9	750
Tungstene Thorie .	22	16	1800-1900	9	65
Oxydes rapportés .	85	27.	1000-1100	30	110
Cathodes au Baryum	66	20.5	1000-1100	25	75

La figure 4 donne l'émission comparée de ces différentes cathodes.

D. — RESISTANCE INTERNE ET POUVOIR AMPLIFICATEUR

La résistance interne d'une lampe ϱ est définie par le quotient d'une variation de tension d'anode par la variation correspondante du courant qui en résulte. C'est donc une résistance différentielle :

$$\rho = \frac{dv}{dj}$$

Cette résistance interne varie suivant le point de fonctionnement sur la caractéristique. Pratiquement, ce point est sur la partie droite de la caractéristique et la résistance ϱ correspond à la pente de celle-ci.

Le pouvoir amplificateur K peut être défini par la relation suivante à courant constant :

$$K = - \frac{dv}{du}$$

Si l'on augmente en effet la tension de la grille de « du » il faudra diminuer la tension de la plaque de « K du » ou de « dv » pour obtenir le même courant. Cela revient à dire que « du » a le même effet qu'une variation de tension K fois plus grande sur la plaque.

On considère aussi, mais plus rarement, le rapport $\frac{v}{J}$ qui est la résistance r de la lampe à son point de fonctionnement.

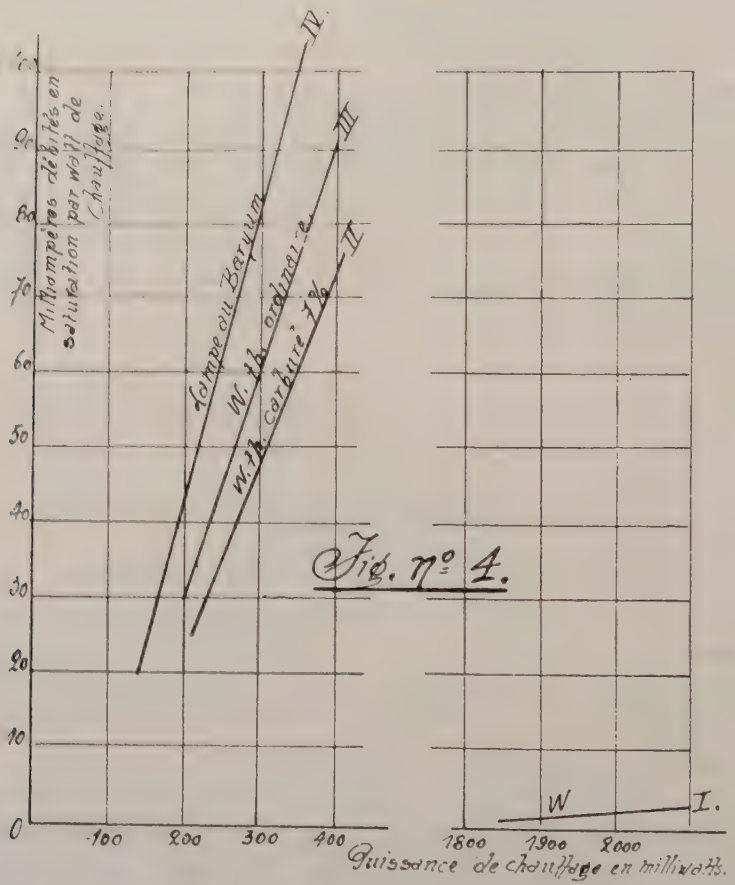


Fig. n° 4.

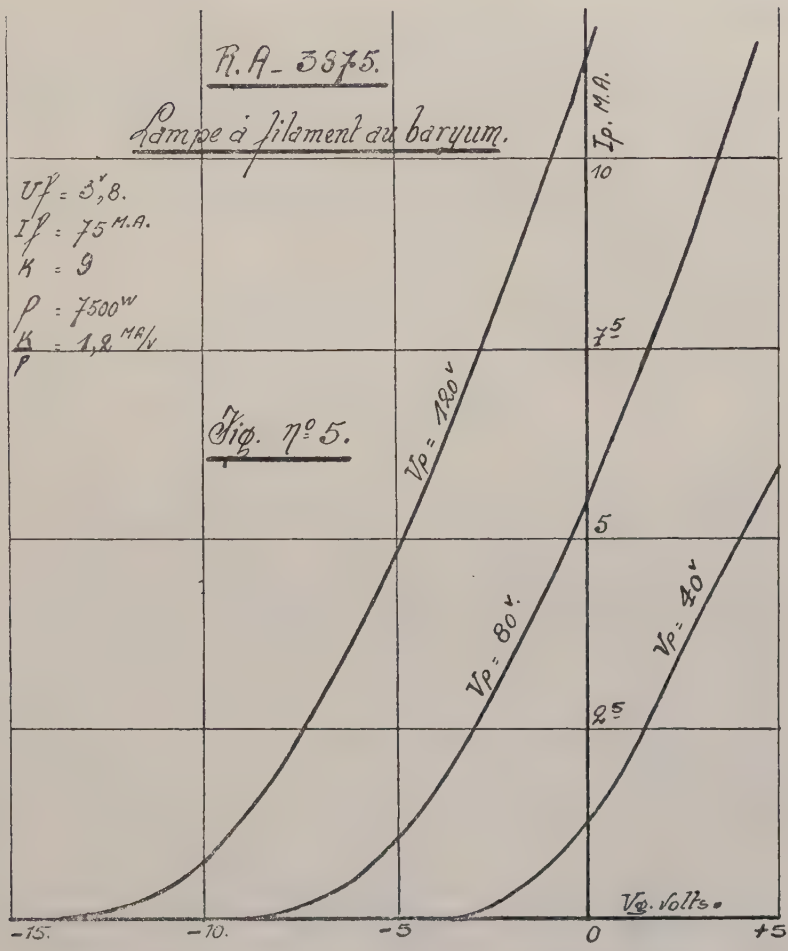
Prenons un exemple : la figure n° 5 se rapporte à la triode 3875 dans les régions normalement utilisées. Calculons K et ϱ sur les courbes de cette figure.

Pour une tension de grille nulle et une tension de plaque variant de 80 à 120 volts, la résistance interne est de 6800 ohms.

Pour une tension de grille de — 1 volt et une tension de plaque variant de 80 à 120 volts, elle est de 7300 ohms.

D'autre part, pour la grille à 0 volt sous 80 V plaque, et à — 4^{V},3 grille sous 120 volts plaque, on a le même courant d'anode. On peut en tirer la valeur de K :

$$K = \frac{Vp - V'p}{Vg - V'g} = \frac{120\text{-}80}{4{,}3\text{-}0} = \frac{40}{4{,}3} = 9{,}3$$



Enfin, la pente de la caractéristique et qui est égale à $\frac{dj}{du}$ (dj variation du courant d'anode sous voltage de plaque constant) a pour valeur le rapport $\frac{k}{\varrho}$ que l'on peut déduire indirectement des valeurs de K et de ϱ mais que l'on peut aussi déterminer directement.

Dans notre cas, entre 0 et — 1 volt grille sous 120 volts plaque, cette pente est égale à 1,5 milliampère/volt. Sous 80 volts, entre 0 et — 1, elle est de 1,15 milliampère/volt.

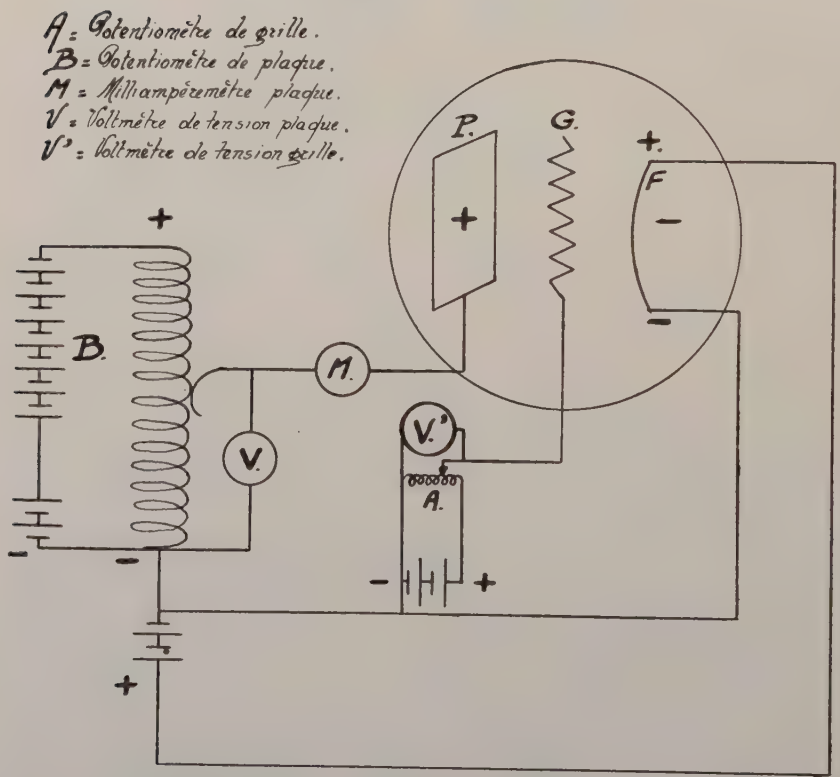
Dans l'industrie, les valeurs de K et de ϱ, ne sont déterminées que sur un certain nombre de lampes. $\frac{k}{\varrho}$ se mesure au contraire

sur la plupart des lampes.

Cette mesure se fait simplement de la façon suivante : la lampe étant en fonctionnement normal, on mesure la diminution de courant pour une diminution de 1 volt de la tension de grille. Toutefois, pour les lampes ayant un débit anodique important, il faut, sous peine de grosses erreurs lorsque la tension anodique est donnée par un potentiomètre, ramener la tension de plaque à sa valeur primitive.

Voici le schéma de montage : (figure n° 6).

Fig. n° 6.



On prend souvent d'ailleurs la pente moyenne en faisant varier de plusieurs volts la tension de grille, de — 3 à — 6, par exemple.

On mesure aussi ce que l'on appelle le « **bloquage** » de la

caractéristique ; c'est la tension négative à laquelle il faut porter la grille pour qu'il n'y ait plus de courant d'anode.

Nous connaissons donc maintenant la signification des paramètres d'une lampe et nous savons les mesurer.

E. — CALCUL DES CATHODES, DES DIODES ET DES TRIODES.

Lorsque l'on connaît la nature de la cathode et les constantes de la loi de Richardson, on a par là même, à toute température, le courant de saturation par cm^2. On admet d'ailleurs qu'une cathode est viable, peut « durer », lorsque le courant moyen d'anode en fonctionnement normal est environ de $\frac{1}{3}$ de celui de la saturation.

D'autre part, des essais pratiques indiquent la longueur à donner au filament.

Enfin, s'il s'agit plus particulièrement d'un support en tungstène, des tables donnent la valeur du courant qui doit traverser un diamètre donné pour le porter à une certaine température (fig. 7).

On peut donc facilement déterminer pour un diamètre pris arbitrairement et un courant moyen d'anode fixé, l'émission en amp/cm2, la consommation du filament et, par suite, la tension d'alimentation à employer.

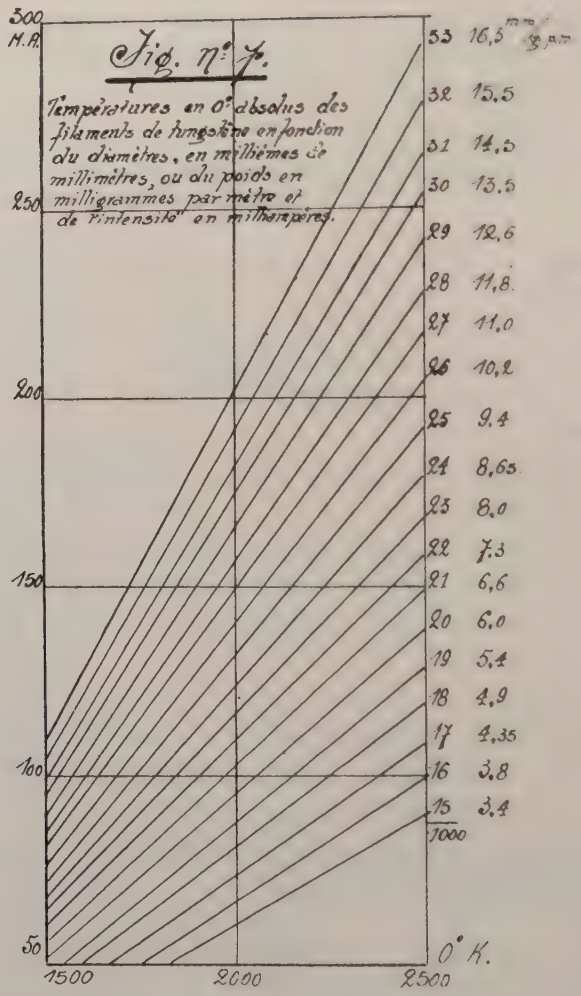
Pour un filament plus gros et fonctionnant à la même température, on applique la formule :

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^{3/2} \quad (1)$$

I_1 et D_1 , étant les valeurs primitives du courant et du diamètre, I_2 et D_2 étant les nouvelles valeurs.

(1). Jouaust. Cours d'Electricité à l'Ecole Supérieure. Dans le même cours, on trouve les formules suivantes :

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^{1/2} \quad \frac{L_1}{L_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad \frac{L^1}{L_2} = \sqrt[3]{\frac{I_1}{I_2}}$$



Dans l'industrie, on se sert rarement du diamètre. On se base sur le poids en grammes du filament au mètre ou au décimètre, suivant les grosseurs. Ces filaments sont pesés sur un dynamomètre à torsion à fil d'argent appelé « balance de torsion ». Comme toutes les formules sont exprimées en fonction du diamètre, on passe du diamètre au poids par des formules faciles à retenir ou à appliquer. En voici une par exemple, qui donne de bons résultats et qui est calculée en prenant un poids spécifique du tungstène égal à 19,2 :

$$\frac{P}{15,2} = D^2$$

dans laquelle P est le poids en milligrammes au mètre et D le diamètre du filament en 1/1000 de mm ou microns.

Si l'on veut connaître la longueur à donner à un filament, connaissant déjà les caractéristiques d'un filament semblable mais de diamètre différent, on utilisera la formule :

$L = k \sqrt{D}$, k étant une constante calculée sur un filament connu.

Pour une diode, d'après Kusunose, le courant que doit débiter une cathode est régi par le formule :

$$ia = 2.33 \times 10^{-6} \frac{A}{X^2} e_a^{3/2}$$

dans laquelle X est la distance de l'anode au filament, e_a la tension d'anode et A, sa surface effective égale à 2π xl, x étant son rayon et l sa longueur.

Pour une diode on peut donc calculer directement, en partant du courant que l'on veut obtenir, le diamètre de l'anode, sa longueur étant donnée par la longueur de la cathode.

Ci-joint le tracé d'une caractéristique d'une valve de puissance sur laquelle cette loi est vérifiée (fig. n° 8).

Pour les triodes, on se donne K et $\frac{k}{\varrho}$

Pour K, une formule simple donne un ordre de grandeur :

$$K = \pi Nd \frac{\log \frac{dp}{dg}}{\log \frac{1}{\pi Nd}}$$

avec
- dp diamètre du cylindre de plaque
- dg » » de grille.
- N nombre de spires du fil de grille.
- d diamètre du fil.

Yuziro KUSUNOSE (1) a établi d'autre part une formule

(1) Researches of the Electrotechnical Laboratory Ministry of communication Tokio, Japon. " Calculation on Vacuum tubes and the design of triodes „ by Kusunose (1928).

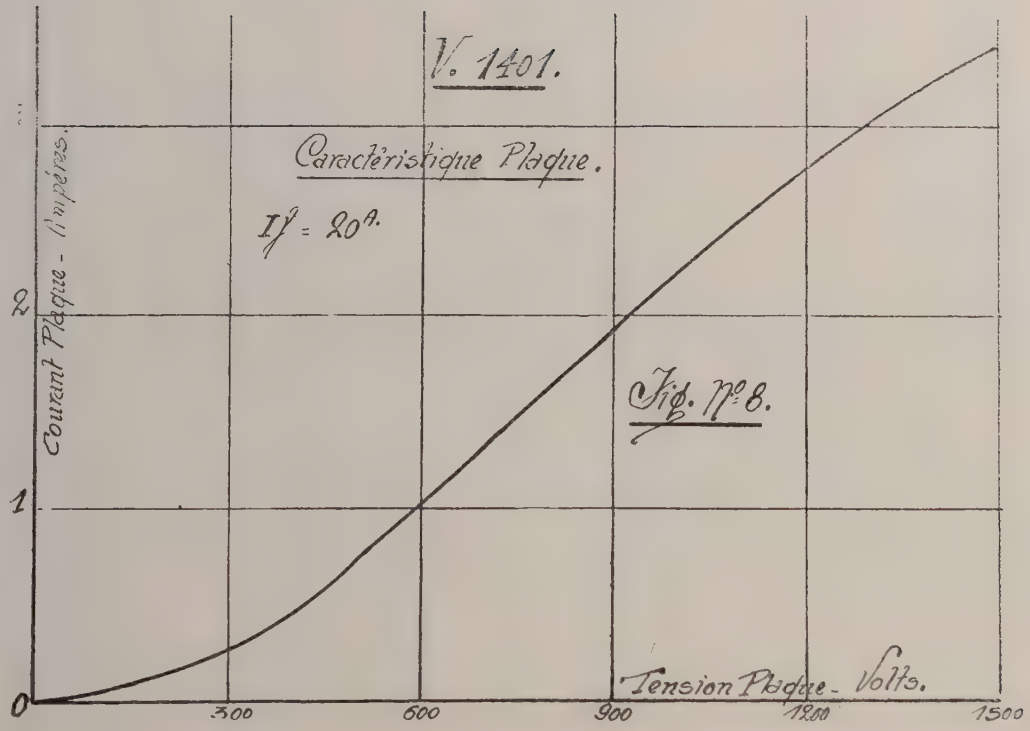

V. 1401.
Caractéristique Plaque.
If = 20A.
Courant Plaque - Ampères.
2
1
0
300
600
900
1200
1500
Tension Plaque - Volts.

Fig. N° 8.

pour le calcul de K et pour différentes formes de plaque et de grille. Mais comme elle est assez compliquée et qu'il faut se servir de tableaux, nous renvoyons à l'original.

Ce même auteur donne également une formule pour $\frac{k}{\varrho}$

$$\frac{K}{\rho} = \frac{1}{5} G \frac{K}{1+K} \left(\sqrt{\frac{e_a + K e_g}{1+K}} - \frac{1}{4} \frac{e_f}{\sqrt{\frac{e_a + K e_g}{1+K}}} \right)$$

avec
- G $\quad 2{,}33 \times 10^{-6} \frac{A}{Z_a \times Z_g}$
- Z_a distance moyenne du filament à l'anode.
- Z_g » » » à la grille.
- e_a tension d'anode.
- e_g » de grille.
- e_f » aux bornes de la cathode.

On construira alors d'après les données du calcul une lampe et, suivant les résultats obtenus, on modifiera la grille et la plaque. Par exemple : si K obtenu est trop faible, on resserrera les fils de grille : si ρ est trop faible, on augmentera la distance filament-plaque. Toutefois, l'une quelconque de ces modifications réagit sur toutes les grandeurs caractéristiques, de sorte que si l'on resserre les fils de grille, si l'on diminue ainsi le pas de la grille, il faudra en même temps diminuer un peu le diamètre de la plaque, dans la mesure où les formules précédentes en tiennent compte.

F. — INFLUENCE DU VIDE.

La présence de gaz à l'intérieur d'un tube est quelque chose de très important, car elle entraîne en général une modification considérable des caractéristiques et du courant de saturation.

On peut classer les tubes mal vidés en deux catégories suivant que le mauvais vide provient d'une fuite ou d'une fêlure. d'un pompage défectueux ou d'un dégagement des électrodes au cours du fonctionnement.

Les premiers sont faciles à reconnaître lorsque la fêlure ou la fuite se produisent pendant la fabrication. Si l'on chauffe le filament, celui-ci s'oxyde et se rompt. Si l'on chauffe les autres électrodes, le magnésium mis sur la plaque comme absorbant des gaz ne peut pas se volatiliser et forme un bloc de magnésie. Lorsque

la fuite se produit après la fabrication du tube, on la reconnaît à ce que la consommation du filament à voltage constant augmente tandis que l'émission devient nulle.

La deuxième catégorie de tubes mal vidés est plus difficile à déterminer. Pour cela on mesure le courant de saturation en réunissant la grille et la plaque dans une triode et en les portant à un haut potentiel (80 volts). Pour les cathodes qui émettent beaucoup on se contente de 30 à 40 volts afin de ne pas abîmer le filament. La saturation doit rester stable pendant quelques secondes ; si au contraire, dans le cas des lampes à cathodes en tungstène thorié ou au baryum elle tombe, c'est que le vide est mauvais.

Fig. n° 9

Lampe bien vidée.

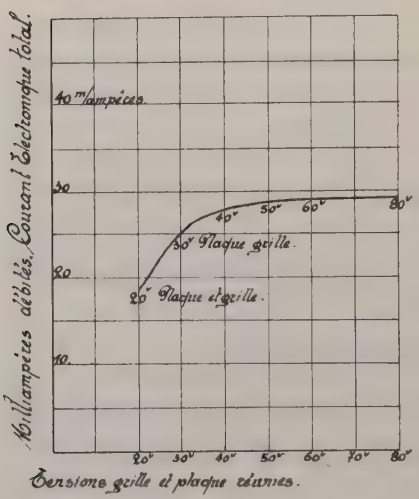
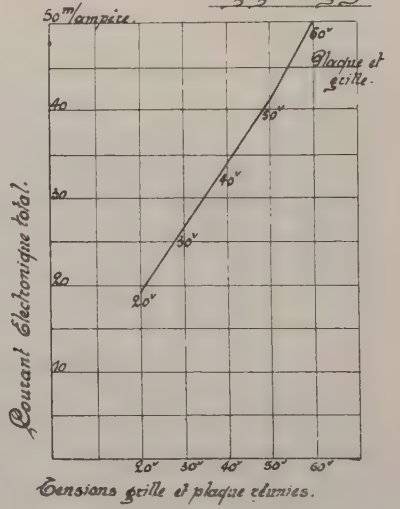


Fig. n° 10.

Lampe mal vidée dont la cathode dégage des gaz.



Lorsqu'il s'agit d'un dégagement gazeux provenant des électrodes (et ceci se produit assez souvent dans les tubes à oxydes rapportés) on n'obtient jamais une véritable saturation malgré l'élévation de la tension. A partir d'une certaine tension, le tube se remplit de lueurs et il peut alors se produire un arc entre anode et cathode et qui brise le filament.

Les courbes (fig. 9 et 10) feront mieux comprendre ce qui se passe.

La figure n° 9 donne le courant de saturation dans une

lampe bien vidée. La figure n° 10 montre la même courbe relative à une lampe mal vidée.

METHODES INDUSTRIELLES POUR LA MESURE DU VIDE.

Mais ces méthodes ne peuvent servir que lorsqu'on est en présence d'un très mauvais vide. Industriellement, on peut mesurer le vide d'un tube de deux façons :

1°) C'est la méthode la plus employée, car elle ne fatigue pas le filament. Elle consiste, pour les petites lampes de réception, à porter la plaque à un potentiel positif de l'ordre de 100 V. et la grille à un potentiel négatif de l'ordre de — 3 volts.

On mesure le courant de plaque et, avec un microampèremètre ou un galvanomètre à cadre mobile, le courant de grille. Ce dernier, provoqué par les ions gazeux positifs, est appelé « courant inverse de grille » ; il est en sens inverse du courant normal, celui que l'on obtient lorsque la grille est positive.

Ce courant inverse augmente avec le nombre des molécules gazeuses et avec le nombre d'électrons reçus par la plaque, c'est-à-dire avec le courant d'anode.

Dans la pratique on a constaté que pour avoir une durée convenable de la lampe l'inégalité suivante devait être respectée :

$$\frac{\text{Courant inverse de grille}}{\text{Courant plaque}} < 10^{-4}$$

Les lampes qui ne satisfont pas à ces données sont rejetées.

2°) Le vide peut aussi se mesurer par le courant de plaque de la façon suivante :

Une forte tension positive est mise sur la grille et une faible tension négative sur la plaque.

S'il y a des traces de gaz, les électrons et les ions négatifs sont reçus par la grille et les ions positifs par la plaque. Si, au contraire, le tube est bien vidé, il n'y a pas de courant de plaque.

Cette méthode n'est presque plus employée car les vides des tubes à tungstène pur et de faible puissance peuvent seuls être mesurés de cette façon, le tungstène n'étant pas fatigué par une

émission de saturation.

Pour les autres tubes, la première méthode est préférable. Voici pourquoi : la tension positive à mettre sur la grille pour la mesure du vide, ne serait-elle que de 50 volts, suffirait pour faire débiter beaucoup trop au filament qui ainsi s'épuiserait et se détériorerait.

Pour les tubes de puissance d'autre part, la méthode est impossible à appliquer, car il faudrait mettre sur la grille une tension positive trop forte et cette dernière s'échaufferait beaucoup trop sous l'action du bombardement électronique.

D'ailleurs des oscillations (oscillations de BARKHAUSEN et de PIERRET), d'une longueur d'onde de 0m20 à 1 m., pourraient s'amorcer et venir alors fausser les mesures.

Aussi, la mesure du vide employée industriellement pour les lampes de puissance est-elle basée sur le même principe que pour les lampes de réception. Seules, les tensions appliquées à la grille et à la plaque changent. La grille qui est évidemment polarisée négativement doit l'être très largement de façon à ce qu'elle ne puisse recevoir que les ions positifs et que la lecture du courant inverse ne soit faussée ni par l'émission dûe au filament, ni par les différentes émissions secondaires dont nous allons parler maintenant.

G. — EMISSIONS SECONDAIRES DE GRILLE ET DE PLAQUE.

Il existe dans les tubes électroniques d'autres émissions que celle de la cathode : ce sont les émissions secondaires de la grille et de la plaque. Elles sont provoquées par les électrons émis par la cathode (électrons primaires) en tombant sur la grille et sur la plaque avec une grande vitesse. Il nous est facile de calculer cette dernière.

Soient V la tension de la plaque par rapport au filament, e la charge de l'électron, m sa masse et U sa vitesse en arrivant sur la plaque. L'énergie mise en jeu est eV, et toute cette énergie est transformée en énergie cinétique $\frac{1}{2}$ m U^2. On a donc :

$$e\,V = \tfrac{1}{2}\,m\,U^2$$

D'où

$$U = \sqrt{\frac{2e}{m}}\,\sqrt{V}$$

En remplaçant les lettres par leur valeur et en exprimant V en volts, on obtient pour U exprimé en km/. sec :

$$U_{\text{Km/sec}} = 600 \sqrt{V_{\text{volts}}}$$

Pour 1 volt, la vitesse est de 600 km/seç. Pour 100 volts elle est déjà de 6000 km/sec.

1°. — Lorsque la tension de plaque V est très forte, les électrons arrivent sur la plaque avec une grande vitesse et peuvent la porter à une température assez élevée (on peut faire fondre ainsi du nickel, du molybdène, du tantale), par suite de la transformation de leur énergie cinétique en chaleur. La plaque fonctionne alors comme cathode incandescente et émet des électrons dits « secondaires ». Ce fait très rare dans la pratique courante, ne doit pas se produire si la lampe est bien calculée et utilisée normalement.

2° — Lorsque la tension est faible, les électrons sont en partie réfléchis par la plaque. La force vive des électrons réfléchis ne peut pas être la même que celle des électrons primaires, car il y a perte d'énergie par suite de l'échauffement de la plaque. Cependant, la perte de vitesse n'est pas appréciable pour des tensions inférieures à 10 volts.

3° — Enfin, les électrons secondaires peuvent être produits par impact d'électrons, c'est-à-dire lorsque des électrons primaires viennent frapper avec une grande vitesse une surface froide susceptible d'en émettre sans qu'il en résulte d'échauffement.

Ce genre d'émission a généralement une valeur en rapport avec le travail de sortie de l'électron.

Van der Pol a trouvé qu'il n'était pas nécessaire, avec les corps dont le travail de sortie de l'électron est faible, d'avoir des tensions très élevées. Il a signalé notamment que l'oxyde de baryum frappé par des électrons primaires émet déjà autant d'électrons secondaires sous 25 volts qu'il a reçu d'électrons primaires. Sous 1000 volts, il émet 20 fois plus d'électrons secondaires qu'il reçoit d'électrons primaires.

Jouaust a aussi signalé que l'émission secondaire dépendait non seulement du métal employé comme anode, mais encore des impuretés que contenait ce métal.

L'émission secondaire par impact étant la plus courante, nous

ne nous occuperons que de celle-là. Elle est d'autant plus importante :

1°) Que la surface émettant les électrons secondaires est plus grande.

2°) Que le voltage de cette surface est plus élevé.

3°) Que le nombre d'électrons qui viennent la frapper est plus grand.

4°) Que le travail de sortie de l'électron secondaire est plus petit.

En outre, la cathode peut avoir une influence sur l'émission secondaire (cas des cathodes à oxydes rapportés).

Nous avons étudié l'émission secondaire de grille de quelques types différents de lampes obtenues en volatilisant sur la grille des éléments différents. Voici, (fig. n° 11) le montage employé.

Les tensions de grille et de plaque à utiliser étant très élevées, on se trouve toujours à la saturation. C'est la raison pour laquelle, dans ces mesures, nous avons sousvolté la cathode de façon à ce qu'elle n'émette que 5 à 6 milliampères pour ne pas trop échauffer les électrodes.

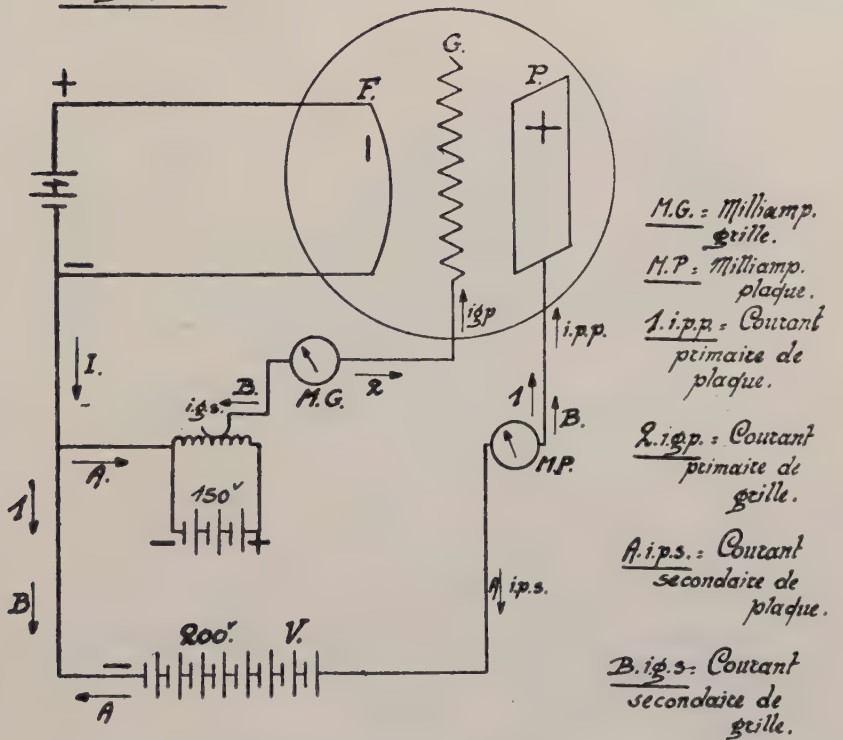
Les courbes des figures 12, 13, 14, 15 ont été tracées de la façon suivante : la tension de la plaque était de 200 volts et celle de la grille pouvait varier grâce à un potentiomètre de 0 à 200 volts. Un milliampèremètre placé dans le circuit de grille indiquait en fonction de la tension de grille la somme algébrique du courant « normal » de grille et du courant fourni par l'émission secondaire de la grille.

On voit qu'à un certain moment pour les lampes à émission secondaire, la pente de la caractéristique de grille devient négative. Le courant de grille peut même arriver à s'inverser : le courant d'émission secondaire l'emporte alors sur le courant primaire : la grille émet plus d'électrons qu'elle n'en reçoit.

La figure n° 12 est relative à une lampe ayant sur la grille de l'oxyde de molybdène. L'émission secondaire est très faible ($K = 25$ $\varrho = 25000$).

La figure n° 13 indique une forte émission secondaire par rapport au courant normal de grille. Aussi, le courant de grille de cette lampe est-il faible ; il atteint à peine 0,3 milliampères.

Fig. n° 11.



Dans la figure n° 14, l'émission secondaire est dûe à des traces de baryum sur une grille de molybdène. Le courant est très fortement négatif.

Dans la figure n° 15, l'émission secondaire est encore plus forte (l'échelle est 10 fois plus petite que pour la figure 14) et le courant inverse dépasse à un certain moment un milliampère. Elle est dûe à de faibles quantités de calcium et de baryum sur la grille.

Les émissions secondaires obtenues avec les différentes lampes sont très différentes. Mais c'est que le travail de sortie des électrons est très grand pour l'oxyde de molybdène, un peu moins pour le molybdène et très faible pour le calcium et le baryum.

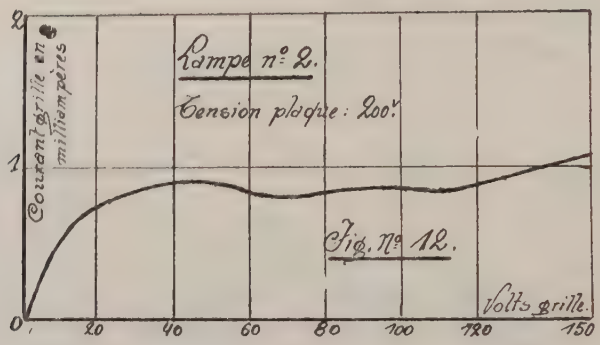


Fig. n° 12.

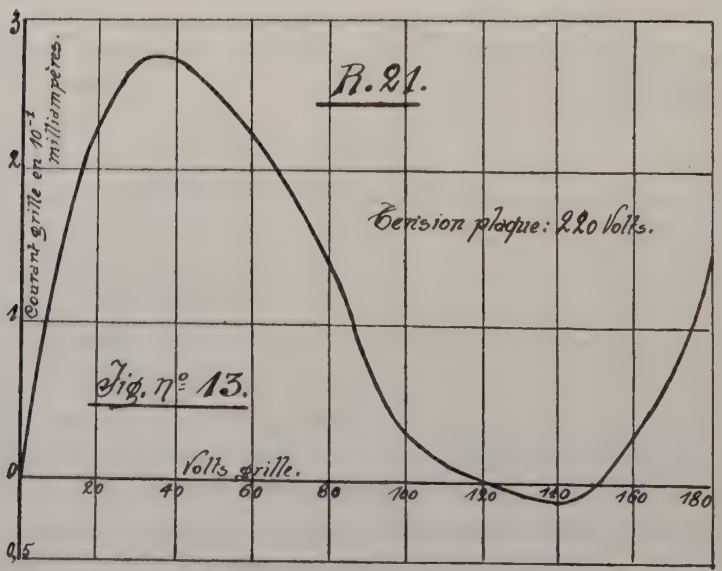


Fig. n° 13.

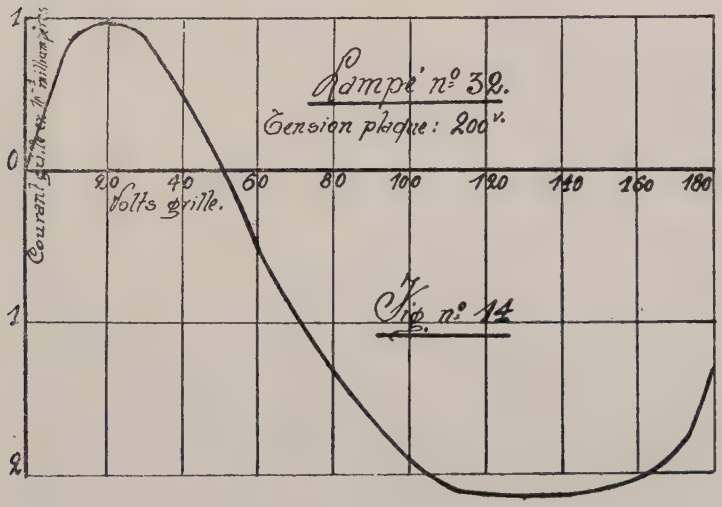


Fig. n° 14

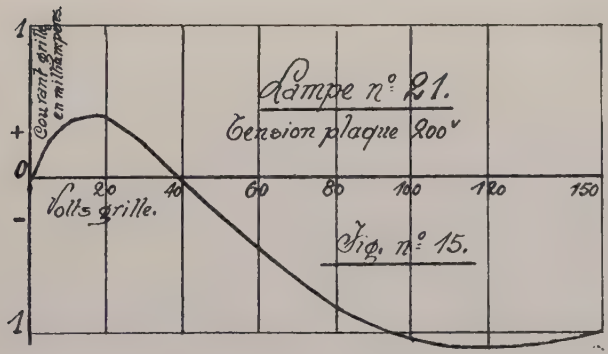


Fig. n° 15.

CHAPITRE II

Cathodes à Tungstène

A. — GENERALITES.

Le tungstène a pour poids atomique 184 et pour nombre atomique 74. Il contient donc 74 électrons groupés autour du noyau. Campbell donne aux fils étirés une denstié de 19,15 à 19,20.

La température de fonctionnement dans un tube est environ de 2500° K. Le tungstène a été employé de préférence au tantale et au molybdène. C'est, en effet, l'élément que l'on peut porter à la plus haute température. C'est, d'autre part, celui qui permet, encore actuellement, d'obtenir et avec le plus de facilité un diamètre déterminé et constant.

Certains auteurs prétendent que le tréfilage en agissant sur la structure peut avoir une action sur l'émission du tungstène.

Indépendamment de ce point difficile à élucider, il est certain que les impuretés qu'il contient agissent sur sa résistance électrique, sa structure et son émission. Cependant, le tungstène pur est assez cassant et il présente des difficultés de tréfilage ; aussi, lui ajoute-t-on très souvent de la thorine (0,5 % environ), du silicate de soude etc. qui le rendent plus facile à travailler.

1°) Fabrication du tungstène.

On part de l'acide tungstique que l'on purifie en le transformant en paratungstate d'ammoniaque. Par l'action d'un acide (H Cl) sur ce paratungstate on a de nouveau l'acide tungstique. L'acide tungstique ainsi obtenu est filtré sur vide, puis séché et tamisé, enfin réduit par l'hydrogène. On arrive ainsi au tungstène métallique en poudre impalpable.

Cette poudre de tungstène est placée dans un moule ayant la forme d'un barreau à base rectangulaire. On comprime cette poudre à 100 atmosphères. Lorsque ce barreau de tungstène sort de la presse, il n'a pas une grande rigidité, mais peut cependant être manipulé en prenant des précautions. Ce barreau est mis dans un four à hydrogène à 1200° environ et porté ensuite, toujours dans l'hydrogène, à très haute température à l'aide d'un courant électrique.

A partir de ce moment là, le barreau peut être facilement manipulé. On peut le marteler à chaud jusqu'à 1 millimètre environ de diamètre. Cette opération se fait avec une machine appelée marteleuse. Le barreau de tungstène sort de cette machine en fils cylindriques.

Pour descendre à des diamètres inférieurs, il faut tréfiler le tungstène. Pour cela, on le fait passer à chaud à travers des filières en diamant. Pour empêcher l'oxydation pendant cette opération et pour favoriser le tréfilage, on fait passer le fil de tungstène dans une suspension de carbone colloïdal vendue dans le commerce sous le nom « d'aquadag ».

On peut ainsi tréfiler du tungstène normalement jusqu'à un diamètre inférieur à 15/1000 de millimètre.

2° Qualités que doit avoir le tungstène.

1°) Le filament de tungstène doit être en cristaux ni trop gros, ni trop fins. Si les cristaux sont trop gros, le filament est cassant et difficile à tréfiler. Si les cristaux sont trop fins, il semble que par la suite et sous l'action du chauffage de gros cristaux ont tendance à se former rapidement, ce qui nuit à sa résistance mécanique.

2°) Sa cassure doit être concoïdale, nette. Lorsque la quantité d'impuretés est trop grande (teneur trop forte en thorine, silicate, etc...), le filament est pailleux. Il est alors impossible de le travailler car, par suite du manque de cohésion, les fibres se détachent les unes des autres dans le sens de la longueur. Voici, pour donner une idée exacte, les cassures de ces deux sortes de tungstène. (Photographies n^{os} 1 et 2).

3°) **Avantages de l'emploï du tungstène dans les lampes d'émission à grande puissance.**

Nous avons vu que le tungstène n'était, pour ainsi dire, plus employé seul comme cathode. Cependant on l'utilise encore tel quel dans les valves et les lampes de puissance. Dans ces diodes et triodes, l'emploi du tungstène présente en effet certains avantages.

Notamment, ces valves et ces lampes à filament de tungstène peuvent être bombardées sur pompe sans difficultés.

Dans cette opération, les électrodes, plaque et grille, sont purgées de leurs gaz qui sont absorbés par la pompe. Cette méthode est très employée ; elle « dégaze » mieux les électrodes que le chauffage en haute fréquence et permet de se passer de « **getter** » (c'est-à-dire d'absorbant des gaz). Elle est indispensable dans le cas des lampes d'émission car leur plaque, sauf dans le cas des lampes à circulation d'eau, peut être normalement portée au rouge. Mais comme celle-ci a été ainsi amenée à une température supérieure à celle du fonctionnement normal, elle ne risque plus par la suite de dégager des gaz.

Cependant, au cours du bombardement, il y a un dégagement gazeux intense et il faut faire en sorte, au début surtout, qu'il ne soit pas trop rapide et ne provoque pas un arc entre l'anode et la cathode, ce qui mettrait cette dernière hors d'usage. Les gaz sont absorbés par la pompe plus au moins vite selon son débit. Pendant plusieurs minutes en outre, la cathode peut se trouver en contact avec des gaz tels que l'oxyde de carbone, l'eau, l'hydrogène, l'azote et l'oxygène qui peuvent l'attaquer et l'empêcher d'émettre.

Mais le tungstène peut être porté sans danger pendant quelques minutes à plus de 3000° K., et à cette température les composés formés par l'action des gaz sur le tungstène sont volatilisé.

De plus, s'il est nécessaire, on peut sans inconvénient faire débiter cette cathode à saturation.

Or, ces possibilités n'existent pas avec les autres cathodes.

B. — PROCESSUS D'EMISSION.

Sous l'effet de l'agitation thermique, les électrons tendent à sortir du métal, mais ils sont retenus par l'attraction des atomes ionisés positivement et forment une gaine autour du filament, si bien que l'on a :

1° — A l'intérieur du filament, des molécules neutres de tungstène ;

2° — à la périphérie, des atomes de tungstène privés d'électrons et formant une couche positive ;

3° — à l'extérieur, des électrons libérées formant une enveloppe à charge négative. A froid il y a une simple couche extérieure d'électrons formant avec la précédente une « couche double ».

Sans vouloir appliquer les lois de la dissociation thermique à l'émission électronique, nous pouvons cependant constater une certaine ressemblance. Dans la dissociation thermique, la tension de dissociation augmente avec la température. Dans l'émission électronique, la densité du « gaz électronique » augmente aussi avec la température.

Il s'agit bien effectivement d'un « gaz » doué comme tous les gaz d'une certaine agitation thermique. En effet, si l'anode est au même potentiel que le pôle négatif de la batterie de chauffage du filament, elle est négative par rapport à tous les points de ce filament et le courant recueilli devrait être nul. Or, si la plaque n'est pas trop éloignée du filament on recueille un courant, certes très faible, mais mesurable au micro-ampèremètre. Ceci prouve bien que la vitesse de certains électrons est suffisante pour atteindre la plaque, malgré l'action répulsive de celle-ci, et ce résultat, nul à froid, est d'autant plus marqué que la température est plus élevée.

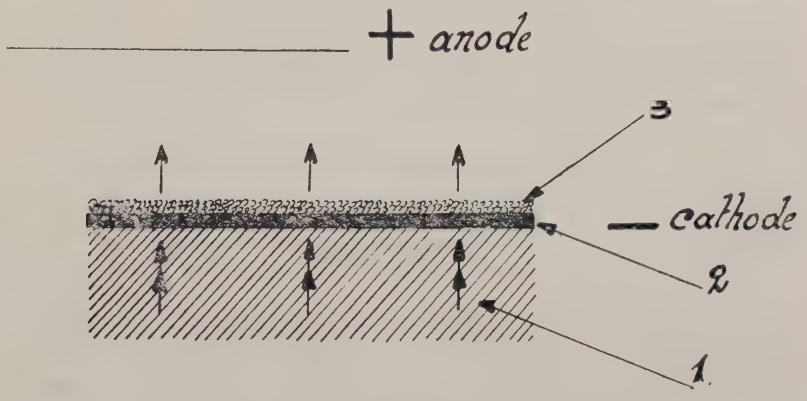
KATO, dans un article de « The physical Review » donne la vitesse moyenne des électrons de l'atmosphère électronique d'une cathode au tungstène.

A 2.250° K., les électrons ont une vitesse de 0 v 5.

A 3.000° K., » » » » 4 v.

C'est-à-dire, à 2250° de $600\sqrt{05}$ km/sec ou 420 km/sec et à 3000° de 1200 km/sec.

En fonctionnement normal, la cathode étant chauffée, et l'anode portée à un potentiel positif les choses se présentent ainsi qu'il suit :



1) tungstène neutre

2) couche positive d'atomes de tungstène

3) atmosphère électronique négative

⟵ sens de déplacement des atomes à l'intérieur du métal

↑ sens du trajet des électrons se rendant vers l'anode.

L'anode positive attire les électrons de l'espace filament-plaque et ceux-ci sont remplacés automatiquement par d'autres venant du filament ; la couche n° 2 n'est donc jamais saturée. Elle prend en quelque sorte des électrons se trouvant dans le métal pour les livrer immédiatement à l'atmosphère électronique.

Ceci suppose que la vitesse avec laquelle elle se « ravitaille » est la même que celle avec laquelle les électrons de l'enveloppe négative sont attirés au dehors. D'ailleurs, s'il n'en était pas ainsi, la valeur du courant baisserait.

Il est évident d'autre part, que l'émission est accompagnée de la « vaporisation » d'une certaine quantité de tungstène. Le diamètre du filament diminue progressivement, et, à chauffage sous tension constante, il s'en suit une diminution progressive de la température et de l'émission.

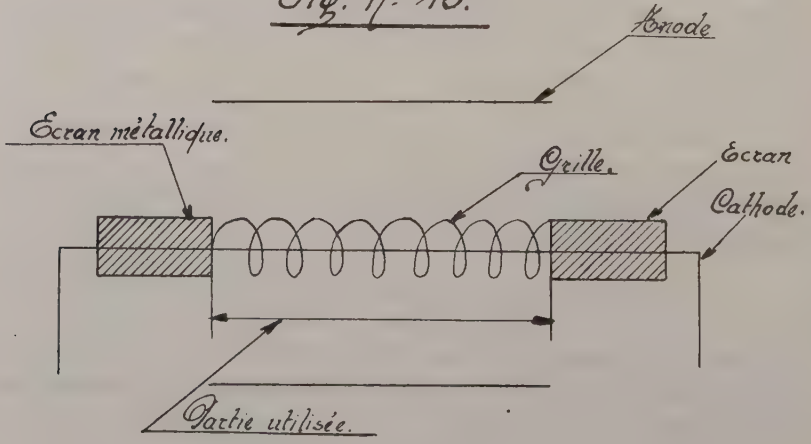
PRECAUTIONS A PRENDRE DANS L'ETABLISSEMENT D'UNE TRIODE A CATHODE EN TUNGSTENE.

1° — Le courant recueilli par l'anode dépend de la valeur du champ électrique agissant sur la cathode (cette valeur est liée à la tension d'anode). A voltages de plaque et de grille déterminés, le tube débite d'autant plus que la résistance interne est plus faible. Chaque triode est calculée pour un point moyen de fonctionnement optimum. Ce point correspond à un débit moyen d'anode déterminé. C'est ce débit à obtenir qui conditionne d'ailleurs la surface d'émission du filament.

Dans le culcul de la surface d'émission du tungstène, il faut tenir compte des bouts froids. Dans un tube avec un filament de 22 mm. de long et 60/1000° de mm. de diamètre, l'émission est réduite aux 2/3 de sa valeur théorique. Ce facteur doit donc intervenir dans le calcul d'une telle triode.

2° — Il ne faut pas non plus qu'une faible augmentation de tension aux bornes du filament puisse faire varier beaucoup les caractéristiques d'une lampe à 3 électrodes. Pour cela on n'utilise, pour l'émission, que les parties les plus chaudes du filament. Dans toutes les lampes d'émission et dans quelques lampes de réception, non seulement la grille dépasse largement la plaque des deux côtés, mais elle ne laisse passer les électrons que sur les parties du filament que l'on veut utiliser.

Fig. N° 16.



Pour cela, les bords de la grille peuvent être, ou :

a) formés de spires très serrées presque jointives ;

b) ou constituées d'un grillage à mailles très serrées ;

c) ou d'un écran métallique ayant le diamètre de la grille (figure n° 16).

C. — DUREE D'UNE CATHODE EN TUNGSTENE.

Dans un tube bien vidé et à filament de tungstène, la saturation ne doit théoriquement baisser qu'au fur et à mesure de l'évaporation du filament. Le tube sera inutilisable lorsque le poids du tungstène évaporé sera suffisamment élevé. Ou bien la résistance mécanique du filament étant fortement diminuée, celui-ci cassera (à titre documentaire on admet pour les lampes d'éclairage à vide que le filament se casse après 10 % de perte en poids et pour les lampes à atmosphère gazeuse, après 4 %), ou bien sa résistance électrique sera augmentée de telle sorte que la température à laquelle il sera porté deviendra trop faible et l'émission électronique insuffisante.

On peut du reste calculer approximativement la durée d'une cathode en utilisant les données numériques du tableau suivant (n° 5) et en se basant sur une perte en poids de 10%.

Tableau N° 5.

Température absolue	Watts/ Cm^2	Emission électronique Amp·Cm^2	Vitesse d'évaporation Gramm. Cm^2 sec.
2.200	38,2	0,0141	2,24 x 10^{-12}
2.300	47,2	0.0437	19,5 x 10^{-12}
2.400	57,3	0,123	138 x 10^{-12}
2.500	69,4	0,302	835 x 10^{-12}
2.600	83,5	0,776	4,17 x 10^{-9}
2.700	100,5	1,74	20,4 x 10^{-9}
2.800	119	3,74	83.3 x 10^{-9}
2.900	139	7,57	309 x 10^{-9}
3.000	162	14,9	1,05 x 10^{-6}
3.100	189	28,1	3,31 x 10^{-6}

Mais la durée d'une lampe est subordonnée en outre à d'autres conditions :

1°. — **A des conditions de préparation.** — Le filament, pendant le montage, a pu être froissé. Pendant le tréfilage, son

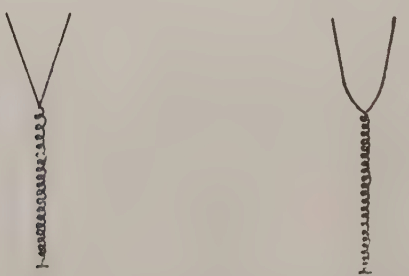
diamètre a pu varier ; sa cristallisation a pu ne pas être convenable. Ce seront autant de causes qui diminueront la solidité mécanique ou augmenteront la température en un point. L'évaporation locale augmentera et pourra provoquer la rupture au point faible ou surchauffé.

2°. — **A des conditions mécaniques.** — Ce cont ces conditions mécaniques, qui en premier lieu, influent sur la durée. Il faut les classer en deux catégories :

1) Celles qui se produisent normalement et qu'il est impossible d'éviter (exemple : la cristallisation progressive du tungstène chauffé à haute température. qui diminue sa résistance mécanique). Parmi elles, il en existe une qui est sans effet dans les lampes de réception, mais qui joue un grand rôle dans les lampes d'émission.

On l'attribue à la pression électrostatique. Lorsque l'on met la plaque sous tension, cette pression est alors suffisamment élevée pour qu'un filament monté en V arrive à présenter un ventre et cela, malgré la présence d'un ressort de tension.

Forme normale. *Après application de la tension plaque.*



2) Celles qui, par un contrôle rigoureux, peuvent être évitées. Il ne faut pas, par exemple que le filament soit tendu par un ressort trop puissant qui le ferait casser à chaud. Il ne faut pas non plus que le filament soit trop peu tendu. En fonctionnement, il viendrait alors toucher la grille.

3° — **A des conditions chimiques (action des gaz sur le tungstène).**

Lorsque le tube a été mal vidé ou lorsque les électrodes ont été mal purgées des gaz qu'elles contenaient, le filament de tungstène

peut se trouver, au cours de fonctionnement, en présence d'oxygène, d'azote, d'oxyde de carbone, etc...

Si, en présence de traces d'oxygène, il se forme de l'oxyde de tungstène l'émission baisse. Mais, à la température du filament, cet oxyde est ensuite votalisé et l'émission peut redevenir plus forte si, malgré l'amaigrissement du filament qui en résulte, sa température reste suffisamment élevée. Bien entendu, si la quantité d'oxygène est suffissante, le filament s'oxyde totalement et casse.

D'après Langmuir, l'azote et l'hydrogène formeraient des composés avec la vapeur de tungstène. Il semblerait que ces composés soient moins volatils que les oxydes et que, recouvrant petit à petit la surface du filament, on tende vers l'émission de ces composés qui est beaucoup plus faible que celle du tungstène.

Les hydrocarbures agissent autrement ; leur carbone s'unit au tungstène pour former du carbure de tungstène qui augmente considérablement, nous le verrons dans le chapitre suivant, la résistance électrique du filament. Comme la cathode fonctionne toujours sous le même voltage, la température est plus faible et l'émission tombe.

Lorsqu'on s'est aperçu que la vie du filament dépendait de la présence des gaz dans le tube, on a cherché à mettre dans le tube des corps capables de les absorber avant qu'ils n'agissent sur le filament ; on les a appelés des « getters ».

Si le tube n'est employé que pour la réception, on peut y mettre du magnésium ou du phosphore.

Dans les lampes d'émission. on emploie du tantale. On fait même des plaques en tantale. Le tantale ne se volatilise pas mais il aurait la propriété de s'unir au rouge à l'azote. Il aurait aussi la propriété de contenir moins de gaz occlus que le nickel ou le molybdène. Les américains emploient des alliages de métaux comme getters, surtout dans les lampes de faible et de moyenne puissance.

En plus de son action chimique le getter, en se volatilisant, balaie les molécules gazeuses et en se condensant sur les parois, les emprisonne.

Le filament de tungstène n'est plus employé maintenant dans

les tubes de réception. Il a été remplacé d'abord par le filament en tungstène thorié qui émet beaucoup plus et à plus basse température, puis par des filaments à oxydes ou au baryum.

D. — LAMPES D'EMISSION A FILAMENT DE TUNGSTENE.

Lampe de 20 Kws à circulation d'eau.

Le calcul des lampes d'émission se fait comme celui des lampes de réception lorsqu'on s'est donné une caractéristique statique. Toutefois, il rentre en jeu un organe important que l'on a négligé dans les lampes de réception : ce sont les supports de grille qui doivent être très gros et qui, de ce fait, par ombre portée, amènent des perturbations dans la réception des électrons par la plaque. Kusunose a donné une formule dans laquelle il en tient compte.

On peut faire des valves à refroidissement par air allant jusqu'à 5 Kws et des triodes allant jusqu'à 4 Kws. au dessus, il faut employer des lampes à refroidissement par circulation d'eau. Voici quelques renseignements sur l'une d'elles, une lampe de 20 Kws :

Le ballon est en verre spécial se soudant au cuivre.

La plaque est en cuivre.

Les passages du filament et de la grille à travers le verre sont en molybdène ou en cuivre.

La grille est en molybdène ou en tungstène.

Le filament est en tungstène.

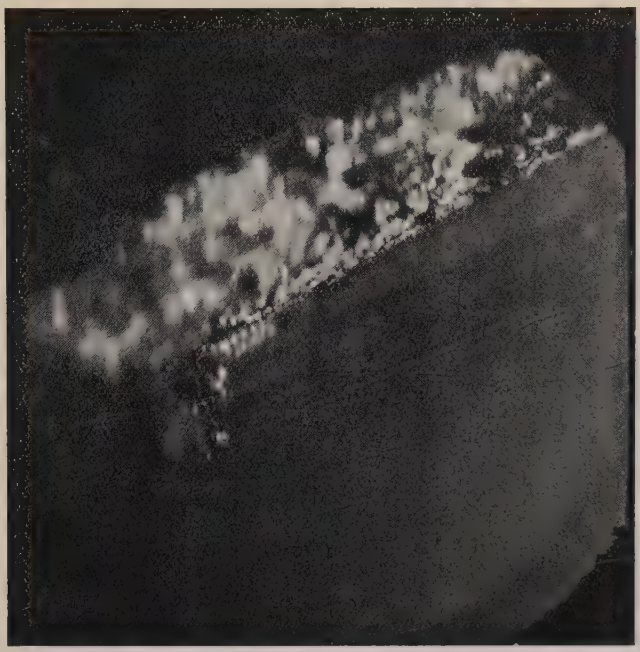
Voici quelques données numériques :

Le filament est en V de 200 m/m. de longueur pour chaque branche ; son diamètre est de 1 m/m4, sa consommation de 80 A sous 17 volts. Il est tiré par un ressort qui, au début, a une force de 700 Grs.

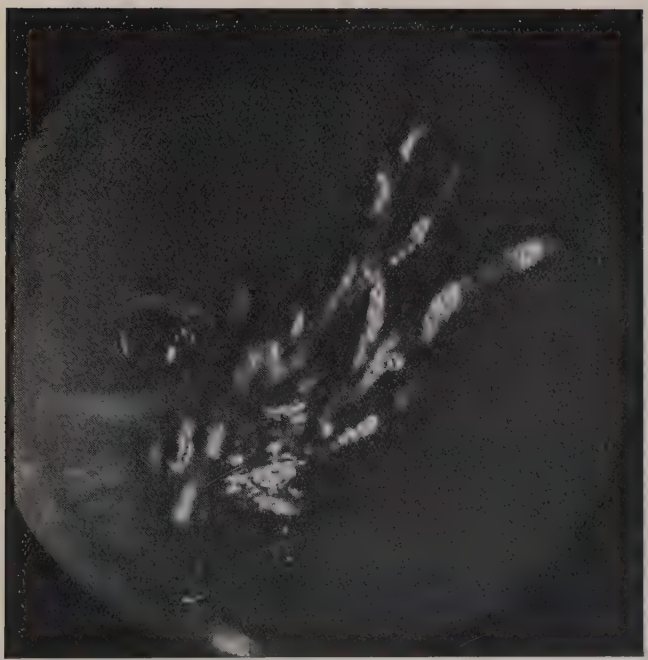
Le diamètre de la plaque est de 54 m/m, sa hauteur de 320 m/m.

Le diamètre de grille est de 25 m/m.

Le coëfficient d'amplification est de 26 ; la résistance interne de l'ordre de 3000 ohms. Ci-joint les caractériques relatives à

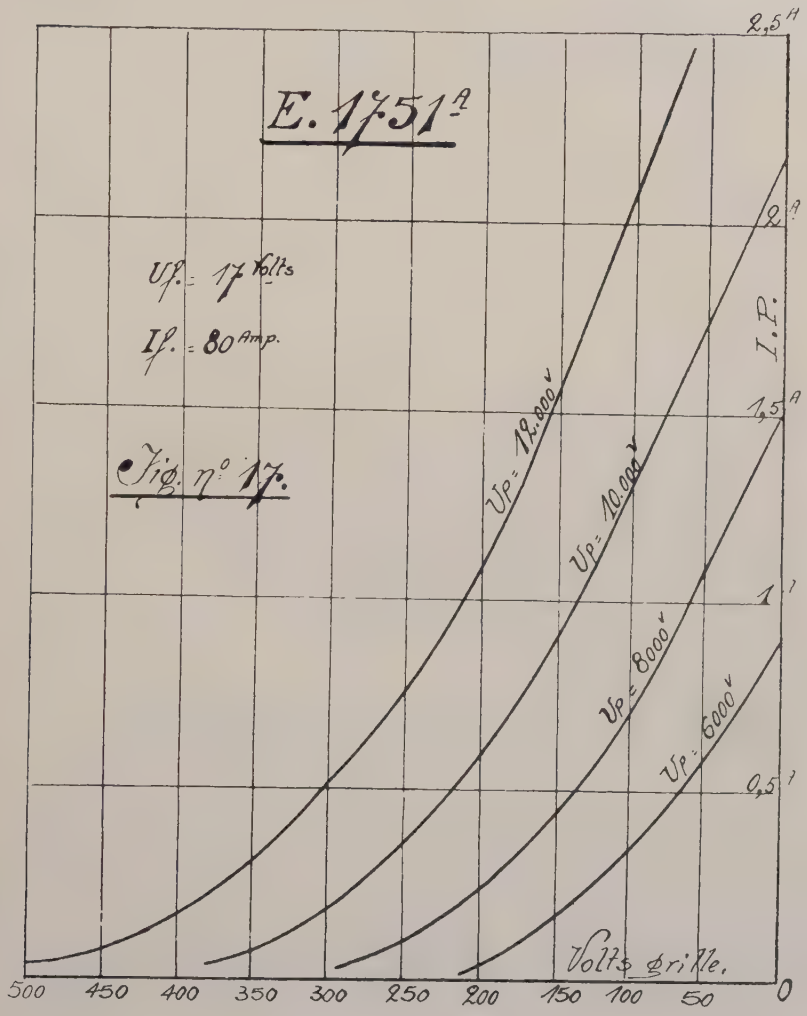


N° 1. Cassure d'un tungstène normal.



N° 2. Cassure d'un tungstène schisteux ou pailleux.

différentes tensions de plaque (fig. n° 17).



La fabrication de ces lampes est très délicate. On a à résoudre les mêmes difficultés qu'avec les autres lampes, mais en outre, elles demandent un travail spécial de verrerie. Il faut, en effet, pour d'aussi gros diamètres, connaître parfaitement la question des soudures verre métal. Or tous les verres ne conviennent pas à tous les métaux. Des contrôles rigoureux du coëfficient de dilatation du verre et de sa composition doivent être faits.

Pour les métaux, il y a aussi des précautions à prendre. C'est ainsi que le cuivre de la plaque doit être pur. On prend du cuivre électrolytique. Des impuretés comme le soufre ou l'antimoine sont particulièrement nuisibles.

CHAPITRE III

Cathodes à base de Thorium

A. — GENERALITES.

Nous avons vu que l'utilisation du tungstène rend de grands services dans la construction des valves et des émettrices de puissance car la cathode peut débiter, même à saturation, sans aucun inconvénient. Le courant de chauffage sera élevé, mais cela importe peu car tous les tubes sont chauffés en alternatif.

Le problème est entièrement différent pour les lampes à trois électrodes. On s'est vite aperçu que lorsqu'on alimentait avec des accumulateurs un filament de tungstène d'une lampe réceptrice, il fallait des batteries de très forte capacité, le minimum de consommation étant de 750 milliampères pour une pente de 0,3 ma/V maximum. Il était difficile d'autre part de songer à faire des lampes de réception de puissance à forte pente, puisqu'il aurait fallu augmenter obligatoirement la longueur du filament, donc le diamètre, et par suite la consommation qui croît comme la puissance 3/2 du diamètre (Voir chapitre I).

$$\frac{I}{I'} = \left(\frac{D}{D'}\right)^{3/2}$$

Pour rendre la lampe à trois électrodes plus pratique il fallait trouver une cathode fonctionnant à plus faible température ou, ce qui revient au même, émettant plus que le tungstème. (Pour les courbes relatives à l'émission, voir fig. 4, chap. I).

LANGMUIR et ses disciples attachèrent leur nom à l'étude et à la mise au point du filament en tungstène thorié. Sa forte émission est due au thorium et tout se passe en effet comme si le thorium superficiel existait seul, le tungstène ne servant que de support.

On ne pouvait songer à utiliser le thorium seul : il est difficile en effet, sinon impossible actuellement encore de le tréfiler. On a donc été obligé de l'incorporer à un support : on a choisi pour celui-ci le tungstène pour les mêmes raisons que celles qui ont motivé l'emploi du tungstène pur comme cathode.

Voici un tableau indiquant les émissions du thorium, et, en même temps, celles du tungstène à différentes températures.

Tableau N° 6

Tableau des températures absolues	Emission du thorium en Amp/Cm²	Evaporation du thorium en atomes/Cm² sec (voir tableau 7)	Emission du tungstène en Amp/Cm²	Evaporation du tungsiène en gramm./Cm² sec.
1400°	2.03 x 10^{-3}	0.445		
1500°	1.00 x 10^{-2}	58 5	0.102 x 10^{-6}	1 78 x 10^{-22}
1600°	4.06 x 10^{-2}	4.18 x 10^{3}	0.102 x 10^{-5}	1.78 x 10^{-20}
1700°	1.40 x 10^{-1}	1.81 x 10^{5}	0.812 x 10^{-5}	1 02 x 10^{-18}
1800°	4.28 x 10^{-1}	5 15 x 10^{6}	0.490 x 10^{-4}	38 x 10^{-18}
1900°	1.164	1.03 x 10^{8}	0.257 x 10^{-3}	932 x 10^{-18}
2000°	2.864	1.53 x 10^{9}	0.112 x 10^{-3}	15,5 x 10^{-15}
2200°		1 61 x 10^{11}	0.0141	2.24 x 10^{-12}
2400°		7.80 x 10^{12}	0.123	138 x 10^{-12}
2600°		2.08 x 10^{14}	0.776	4.17 x 10^{-9}
2700°		3.48 x 10^{15}	1.74	20.4 x 10^{-9}

EMISSIONS COMPAREES DU TUNGSTENE ET DU THORIUM.

En examinant ce tableau, nous constatons que le thorium à 1.800° K. émet 4 fois plus que le tungstène à 2.400° K.

Si nous nous reportons au tableau 4 du chapitre I, nous constatons en effet que, pour la même émission, la surface d'émission est 4 fois plus faible dans les cathodes à thorium que dans les cathodes de tungstène.

D'autre part, le filament, thorié à 1.800° K. émet 10.000 fois plus que le tungstène à la même température.

Dès la découverte de la cathode à filament thorié, les industriels ont cherché à mettre au point le procédé, d'autres à tourner les brevets.

On a proposé l'emploi d'un dépôt électrolytique sur un support. Dans cette voie, nous avons personnellement obtenu de bons résultats en électrolysant une solution de formiate de thorium en milieu formique. On a essayé aussi de réduire la thorine

($Th\ 0^2$) à la surface du filament soit par l'aluminium soit par le carbone.

Dans des cas très particuliers, ces deux méthodes peuvent rendre des services mais, incontestablement, le filament contenant la thorine dans sa masse donne les meilleurs résultats. On a vu que 0.5 % de thorine rendait le tréfilage du tungstène plus facile. Dès que cette valeur monte au-dessus de 1.5 %, le tungstène se tréfile mal ; il devient « pailleux » ou « shisteux ». (Voir chapitre précédent).

On admet que la teneur en thorine n'a pas une grosse importance sur l'émission superficielle d'un filament, mais qu'elle en a sur sa durée. Nous verrons par contre plus loin qu'en carburant le filament on peut augmenter son émission.

Signalons aussi que la résistance électrique du filament augmente dans de fortes proportions avec la teneur en thorine.

Prenons donc un filament correspondant aux caractéristiques du tableau n°3 et posons-le dans une lampe à 3 électrodes. La lampe finie, essayée, ne semble pas émettre sous voltage normal. Cependant, au bout d'un certain temps, une émission faible apparaît qui croît avec le temps, mais lentement.

Elle devient normale au bout de quelques dizaines d'heures mais elle est très sensible au moindre survoltage.

B. — TRAITEMENT DU FILAMENT THORIE.

Langmuir s'est attaché à rendre cette formation industrielle. Voici sa méthode, couramment employée, quelquefois cependant avec des variantes :

I. — Réduction de la thorine $Th\ 0^2$.

On admet que la thorine sous l'influence de la température est dissociée puisque l'oxygène libéré se recombine dans les couches superficielles au tungstène pour former de l'oxyde de tungstène volatil à la température même de formation.

Un filament thorié à 1 % de thorine contient $4{,}4 \times 10^{20}$ molécules de $Th0^2$ par C m3 et le nombre de molécules de thorium métallique obtenues pour 10^4 molécules de thorine varie avec la température ainsi qu'il suit :

1800°	1900°	2000°	2100°
1.4	2.8	5.00	8.4
2200°	2400°	2800°	3000°
14	32	118	200

Tel est le taux de production de thorium métallique sous l'action de la chaleur. La plupart des molécules de thorine subsistent donc.

Les conditions sont choisies de façon à obtenir le plus de thorium possible. Il faut pour cela :

1° que la quantité de thorine soit en proportion aussi grande que possible, mais sans que cela nuise aux autres qualités requises pour le filament.

2° que la température soit très élevée.

Nous avons vu que la quantité maxima de thorine à admettre dans un filament de tungstène était de l'ordre de 1 :5%. Une plus grande quantité rendrait en effet le filament shisteux, cassant et augmenterait considérablement la résistance électrique du tungstène.

Pour la deuxième condition, Langmuir propose 2.700°K. Le tungstène ne fond cependant que vers 3.000° C., mais il ya des raisons pour ne pas aller au-delà de 2.700°K.

1°) **Raisons mécaniques.**

a) Par suite de la diminution de sa résistance mécanique avec la température, le filament risque de se briser s'il est trop tendu entre ses supports.

b) S'il ne l'est pas assez, il risque de venir toucher la grille en se dilatant, d'où survoltage brusque et rupture des extrémités.

2°) **Raisons chimiques.**

A ces hautes températures, l'amaigrissement du filament n'est pas négligeable car il y à la fois :

a) volatilisation du tungstène et du thorium.

b) action sur le filament des gaz résiduels dans le tube et aussi des gaz dégagés par le filament lui-même. Ces gaz ont été absorbés par le tungstène pendant sa préparation. Nous avons signalé en effet qu'il était aggloméré dans l'hydrogène, puis le barreau obtenu était porté à haute température par des rampes de gaz

d'éclairage et qu'il était martelé à chaud et ensuite tréfilé dans l'air. Il n'est donc pas étonnant qu'il ait absorbé des gaz.

Ces gaz sont en quantité suffisante pour qu'il faille en tenir compte, à tel point que dans les tubes non bombardés et ayant un assez gros filament, il est bon avant de sceller le tube, de chauffer le filament sur pompe.

3°) **Raisons de durée.**

La volatilisation du thorium entre 2600°K et 2.700°K est déjà extrêmement rapide ; elle peut atteindre d'après le tableau 6 de $2{,}88.10^{14}$ à 3.48×10^{15} atomes/Cm2/Sec. alors qu'à la température de fonctionnement normal elle n'est que de $1{,}53\times10^{9}$ atomes/Cm2/sec. On peut dire que la plus grande partie du thorium qui se trouve sur la surface du filament, soit normalement, soit pas diffusion, sera volatilisée. La quantité de thorine en réserve diminue passablement, et si on laissait longtemps le filament à cette température, la durée du tube s'en trouverait fortement diminuée. Aussi cette opération entre 2600° et 2700° K ne dépasse-t-elle pas 1 à 2 minutes.

II. — **Diffusion vers la surface, du thorium libéré.**

On réalise cette diffusion en portant le filament à 2.300° K pendant une dizaine de minutes. Nous reviendrons plus loin sur ce mot de « diffusion » lorsque nous expliquerons le fonctionnement de la cathode thoriée. Il nous suffit maintenant de savoir que cette opération a pour but :

a) d'obtenir une diffusion aussi forte que possible du thorium vers les couches superficielles du filament sans qu'il y ait toutefois une volatilisation importante ;

b) de répartir le thorium uniformément dans ces couches ;

c) et d'augmenter en même temps la proportion moyenne de thorium dans le filament.

En effet, à cette température, la production du thorium métallique par réduction de la thorine n'est pas encore négligeable. D'où une augmentation de la quantité totale d'atomes de thorium contenus dans le filament de tungstène.

III. — **Formation d'une couche superficielle monoatomique.**

On porte ensuite le filament, pendant 20 où 30 minutes, à la

température de 2.000 à 2.100° K. Cette opération a pour but simplement d'amener à la surface du filament des atomes de thorium puisés dans les couches plus profondes. Sa durée doit être assez longue pour que le filament soit entièrement recouvert d'atomes de thorium et pour cela le nombre d'atomes de thorium par C m2 doit être d'après Langmuir de 7.56×10^{14}.

Il est avantageux pour cette opération de porter l'anode à une tension positive. On poursuit ainsi deux buts :

1°) On amène à la surface les atomes de thorium plus rapidement que s'il n'y avait pas de tension et d'autant plus que la tension est plus élevée.

2°) On durcit le tube. Dès que l'on applique une tension positive sur la plaque, il y a en effet émission électronique, par suite ionisation des gaz, et, souvent, les gaz sont en quantité suffisante pour qu'une lueur se produise ; il faut même prendre des précautions pour que le courant d'ionisation ne détruise pas le filament par bombardement.

Mais cette lueur, généralement dure peu de temps et disparaît, ce qui tendrait à prouver que ces gaz sont aborbés, ainsi que l'ont signalé Campbell et d'autres auteurs. Et si la pression du gaz n'est pas suffisante pour qu'il y ait apparition d'une lueur l'absorbtion doit se produire tout de même.

IV. — Mise au point finale.

Enfin, on fait fonctionner le tube en régime normal (1900° K) pendant un temps variant entre 1/2 heure et 1 heure pour finir la formation de la cathode et la stabiliser.

La diffusion et la volatilisation du thorium sont alors peu élevées.

Telles sont les différentes opérations à faire subir au filament pour obtenir de lui un fonctionnement normal. Il nous reste maintenant à étudier celui-ci.

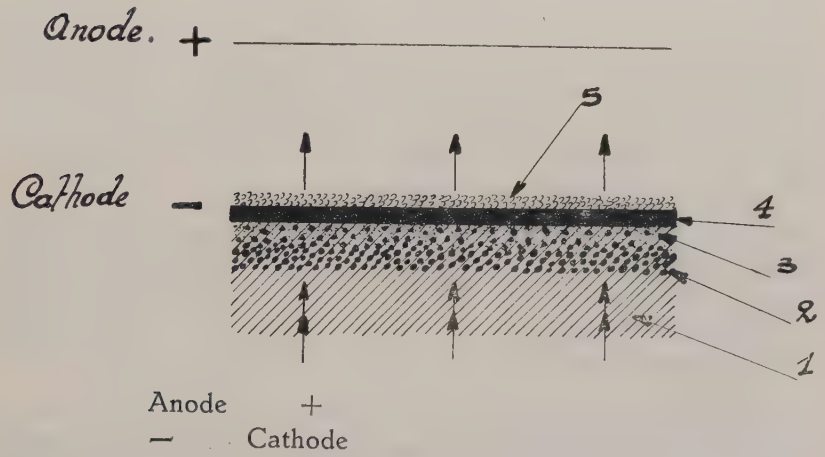
C.PROCESSUS D'EMISSION

Avec ce que nous savons sur le tungstène, tâchons de montrer le mécanisme d'émission du filament thorié. Les électrons recueillis sont dûs au thorium métallique, car ni le tungstène ni l'oxyde

de thorium n'émettent à la température à laquelle fonctionne la cathode thoriée.

Le système émissif est constitué par :

1°) le support (en tungstène généralement),
2°) la thorine non réduite dans la masse de ce support,
3°) le thorium métal provenant de la thorine réduite,
4°) une couche superficielle positive de thorium à la surface du filament,
5°) l'atmosphère électronique négative autour du filament et dans tout l'espace filament plaque lorsque le filament est chaud et qu'il y a tension d'anode.



Anode +
— Cathode

1 = support.
2 = thorine.
3 = thorium.
4 = couche positive de thorium.
5 = atmosphère électronique.

⟵ sens de diffusion des atomes de thorium à travers le support.

⟵ sens de la marche des électrons.

Le mécanisme d'émission est le même que pour le tungstène. La couche positive de thorium fournit à l'atmosphère électronique des électrons qui vont sur la plaque en nombre plus ou moins grand suivant la valeur du champ. Cette couche de thorium, pour que l'équilibre soit toujours satisfait (et il l'est lorsque le courant d'anode reste constant) puise ses électrons dans la couche n° 3

dont les atomes sont neutres. C'est exactement le processus d'émission et de fonctionnement du filament en tungstène pur, mais ici, c'est le thorium qui est en jeu.

Il ne faut pas croire cependant que la couche n° 3 soit réellement une couche, les atomes de thorium n'ont entre eux aucune cohésion et **sont disséminés à l'intérieur du métal support (tungstène).**

Quant à la couche superficielle positive, qui existait normalement dans la mécanisme d'émission du tungstène, il faut la former et c'est justement ce que l'on fait en faisant diffuser les atomes de thorium vers la surface. L'existence de cette couche superficielle de thorium, qui émet est prouvée par le fait que au-dessus de 2100° la saturation d'une cathode thoriée baisse pour arriver finalement à 2500° à l'émission du tungstène. Si on baisse la température vers 1900° K à condition que le survoltage n'ait pas duré trop longtemps, l'émission augmente et redevient normale au bout d'un certain temps.

La diffusion a donc bien deux buts :

1°) fournir à la couche n° 4 les électrons nécessaires à son équilibre avec la couche n° 5, l'atmosphère électronique ;

2°) nourrir en thorium la couche superficielle qui tend à disparaître en se vaporisant progressivement.

La couche qui recouvre le filament est, d'après Dushman, une couche monoatomique. Pourquoi ? Parce qu'une couche monoatomique est moins volatile qu'une couche plus épaisse. Ceci peut s'expliquer par le fait que la couche est fixée par adsorbtion au tungstène.

Il est facile maintenant de se rendre compte du mécanisme de l'émission normale.

L'émission ne dépend que de la densité des atomes de thorium à la surface du tungstène. Cette densité, pour une température donnée, résulte de l'équilibre régi par 3 facteurs :

1°) la réduction de la thorine ;

2°) la diffusion des atomes de thorium ;

3°) l'évaporation des atomes de thorium.

Nous avons donné le taux de production de thorium métal-

lique à différentes températures. Voici, d'après Richardson (1), les constantes de diffusion et le taux d'évaporation.

Tableau 7

Températures absolues	TAUX DE DIFFUSION Débit D en grammes/Cm^2/Sec	Débit D calculé approximativement en atomes Cm^2/sec.	E. évaporation en atomes/Cm^2/sec
1400°	2.36×10^{-15}	7.1×10^{6}	0.445
1500°	2.24×10^{-14}	7.75×10^{7}	58.5
1600°	1.61×10^{-13}	4.85×10^{8}	4.18×10^{3}
1700°	9.15×10^{-13}	2.75×10^{9}	1.81×10^{5}
1800°	4.29×10^{-12}	1.36×10^{10}	5.15×10^{6}
1900°	1.71×10^{-11}	5.15×10^{10}	1.03×10^{8}
2000°	5.94×10^{-11}	1.79×10^{11}	1.53×10^{9}
2100°	1.83×10^{-10}	5.50×10^{11}	1.75×10^{10}
2200°	5.10×10^{-10}	1.54×10^{12}	1.61×10^{11}
2400°	3.06×10^{-9}	9.20×10^{12}	7.80×10^{12}
2600°	1.39×10^{-8}	4.20×10^{13}	2.08×10^{14}
2800°	5.11×10^{-8}	1.54×10^{14}	3.48×10^{15}

Dans ce tableau, les constantes de diffusion qui étaient données en gr/cm2/sec. ont été transformées en atomes/cm2/sec. de la façon suivante. Un atome gramme contient 7.10^{23} atomes. L'atome gramme de thorine pèse 232 gr. Les D grammes qui ont diffusé par cm2 en une seconde contiennent donc $\frac{D \times 7.10^{23}}{232}$ atomes.

Il ne peut s'agir, dans ce tableau, et en vue d'applications générales, que d'ordres de grandeur car, pour une même température, la diffusion est influencée par la texture cristalline du tungstène et le diamètre du filament.

L'évaporation est donnée ici en atomes par cm2/sec. pour une surface entièrement recouverte. Le nombre d'atomes que contiendrait cette surface serait, avons-nous vu, de 7.56×10 atomes/Cm2 d'après LANGMUIR.

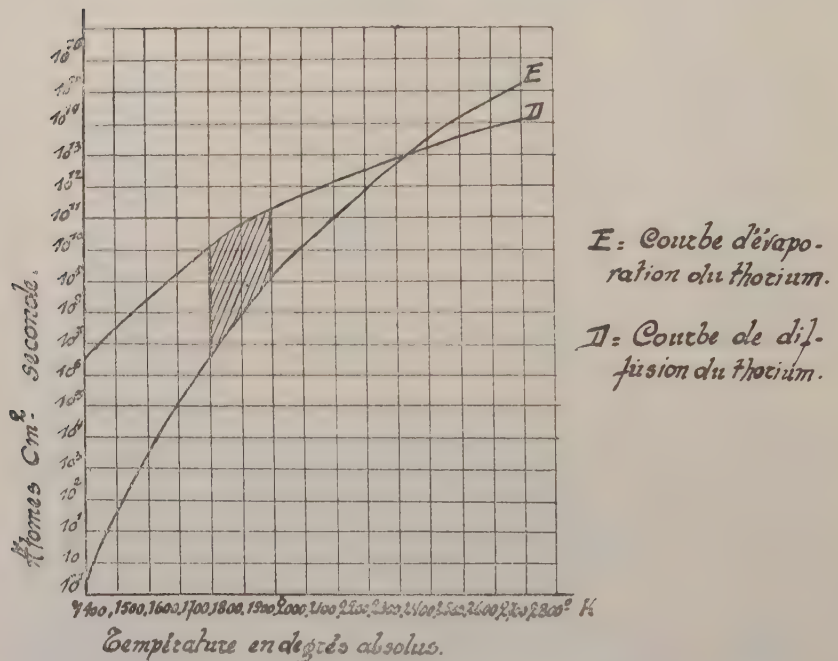
Il est bien évident que l'émission dépend de cette surface recouverte, et que la loi de Richardson donne la sursaturation pour la surface totale.

Dans la figure 18, nous avons tracé en fonction de la température, les courbes de diffusion et d'évaporation du thorium en atomes/cm2/sec.

(1) The Thermionic Emission.

Aux basses températures, l'évaporation est inférieure à la diffusion, mais elle croît plus vite que cette dernière et nous constatons que les deux courbes se coupent vers 2450° K.

Fig. N° 18.



D. — PLAGE DE FONCTIONNEMENT NORMAL.

A priori, en fonctionnement normal, il vaut mieux que la diffusion soit supérieure à l'évaporation. Mais il est même nécessaire qu'elle l'emporte assez nettement, sinon le courant baisserait déjà à 2.100° K, l'évaporation du thorium est suffisamment élevée pour que la mesure de la saturation en soit faussée, quoique la diffusion l'emporte sur l'évaporation. Aussi la plage de fonctionnement normal est-elle comprise entre 1800° et 2000°. Du reste, l'évaporation et la diffusion ne suffisent pas pour déterminer la durée d'une lampe. Il y a une autre valeur dont il faut tenir compte : c'est le débit de la cathode.

On ne peut pas en effet faire émettre à une cathode thoriée son courant de saturation sous peine de réduire considérable-

ment sa durée, et ce n'est pas à cause d'un dégagement gazeux puisqu'on peut s'arranger pour qu'il n'y en ait pas. Il est admis que pour durer, une cathode thoriée ne doit pas débiter plus de 1/3 de son courant de saturation. Une cathode thoriée dont le courant de saturation est de 12 milli ampères ne doit donc pas débiter plus de 4 à 5 milliampères au maximum. C'est une règle connue de tous les «lampistes». Or, si le taux d'évaporation du thorium entrait seul en ligne de compte, une telle cathode devrait durer le même temps, quel que soit le débit anodique. Nos expériences ont d'ailleurs prouvé que des cathodes épuisées soit par insuffisance de formation, soit par débit anodique trop fort, pouvaient facilement redonner la même saturation qu'au début à condition que l'on reforme la couche monoatomique.

La durée d'une lampe est donc non seulement subordonnée à la température de la cathode, mais encore à son émission. C'est qu'à l'**évaporation « normale »** se superpose l'évaporation **« par émission »**. Il y a comme un **« entraînement »** (1) des atomes superficiels de thorium par le flux électronique sortant du métal et il est d'autant plus important que ce flux l'est lui-même. C'est pourquoi la température normale de fonctionnement doit être nettement inférieure à celle qui correspond au point d'intersection des courbes.

Ceci nous permet de formuler une loi, loi très générale et que nous retrouverons à la base de toutes les diffusions.

« Pour que le courant fourni par une cathode à diffusion soit constant, il faut qu'il y ait proportionalité entre le courant d'électrons et le flux des atomes émissifs (de thorium dans notre cas) vers la surface du filament ».

Cette loi complète la loi de Richardson et montre la liaison qui existe entre les électrons et les atomes. Si le courant d'électrons baisse, lorsque le filament reste à la même température et sans intervention de réactions chimiques ce ne peut être dû qu'à une diminution de la diffusion des atomes de thorium, ou a son épuisement en thorium.

(1) Il ne faut oublier que les atomes de thorium qui viennent d'émettre des électrons sont alors positifs et sont attirés par ceux-ci.

E. — CARBURATION.

Nous avons signalé que quelques lampes, après chute de l'émission, pouvaient être **«réformées»** après un nouveau traitement. C'est donc que toute la thorine n'était pas transformée en thorium métallique. Cette observation est en accord avec les chiffres du tableau donnant le taux de production du thorium métallique.

En fonctionnement normal, il y a une légère réduction de la thorine, mais, dans le but d'augmenter l'émission et surtout la durée, il est avantageux de pouvoir transformer toute la thorine en thorium métallique.

D'autre part, il est avantageux d'augmenter la saturation d'une cathode pour deux raisons :

1°) On peut lui demander plus en débit permanent.
2°) On peut faire des lampes de puissance à caractéristiques très à gauche.

Or, la seule méthode pour augmenter l'émission totale d'une cathode donnée d'après la loi de Richardson est d'en élever la température.

Mais nous connaissons l'influence de la température sur l'évaporation du thorium. Et la durée d'une cathode, lorsqu'on lui demande de 60 à 80 milliampères par watt de chauffage, est très faible, de l'ordre de 200 heures.

On a pensé alors que si l'on augmentait la quantité de thorium réduit, on pourrait demander facilement cette émission aux cathodes thoriées. Pour cela, on a augmenté la quantité de thorine, on l'a portée à son maximun, aux environs de 1,5% et on a carburé le filament pour tâcher de réduire toute la thorine. On peut, dans ces conditions et sans inconvénient, faire fonctionner la cathode à 2.100° K au lieu de 1900° K.

Cette carburation se fait généralement en allumant le filament vers 2.300° K dans une vapeur d'hydrocarbure : naphtaline, benzine, acétylène. Toutefois, la tension de vapeur de la naphtaline étant la plus faible, c'est elle qu'on choisit de préférence. La carburation augmentant la résistance du filament, le taux de carburation est donné par la consommation du filament sous voltage constant. On suit donc cette opération à l'ampèremètre.

Dès qu'on a obtenu le taux désiré, on coupe le chauffage, on étuve pour chasser les dernières traces d'hydrocarbure, on bombarde de nouveau les électrodes et on coupe le tube.

Mais la carburation rend le filament fragile, et pour cette raison, il est pratiquement impossible de carburer des filaments de faible section. Aussi la carburation n'est-elle employée que sur les gros filaments, donc sur les lampes de puissance.

Les réducteurs très énergiques agissent tous comme le carbone et prêtent aux mêmes remarques.

La réduction par le bore par exemple, corps avec lequel nous avons fait des essais sur les petites lampes de réception, se fait à une température voisine de 2300° K. Le filament est un peu moins cassant qu'avec le carbone, mais il l'est encore beaucoup trop.

Le bore d'ailleurs ne peut être employé que difficilement avec les lampes d'émission, car il faut le mettre sur le filament. On ne peut donc pas chauffer celui-ci sans faire la réduction. Avec la carburation, au contraire, on peut faire la réduction lorsqu'on le veut.

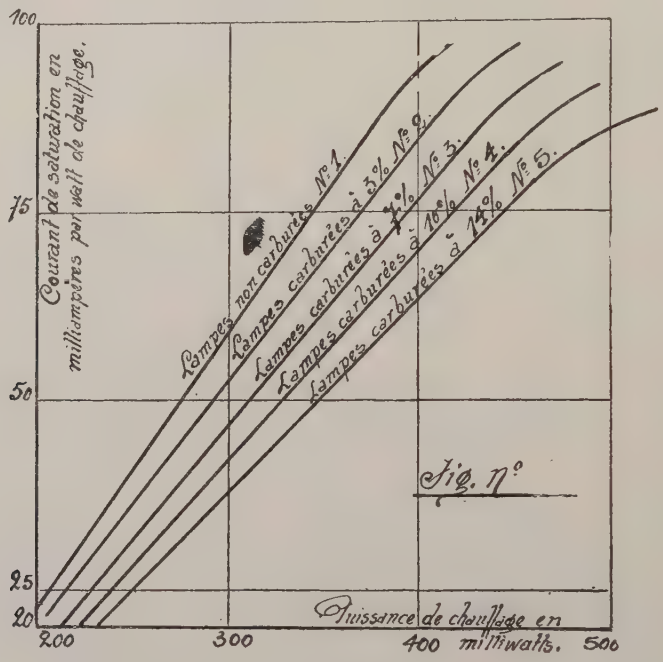
On carbure un filament de tungstène thorié sur pompe après étuvage de la lampe et après bombardement des électrodes en utilisant l'émission non pas du thorium, mais du tungstène pur. Il serait difficile, en effet, d'obtenir l'émission thoriée par suite du dégagement gazeux dû aux électrodes. On porte donc le filament de tungstène thorié à la même température qu'un filament de tungstène. On a l'émission du tungstène pur car le thorium superficiel se volatilise si rapidement que son émission ne compte pas.

Pour le traitement du filament, la première opération ayant pour but de réduire la thorine est donc à supprimer ; elle est remplacée par la carburation. Il ne reste plus qu'à former alors la couche monoatomique.

Nous avons dit que la carburation, par la quantité de thorium qu'elle libérait, et aussi par le fait que le thorium se trouvait toujours en milieu réducteur, permettait de pousser davantage le filament.

Cependant, en étudiant de plus près le phénomène, on constate certaines anomalies dans le fonctionnement des tubes.

Considérons, par exemple, les courbes de la figure n° 19, donnant en fonction du chauffage le courant de saturation obtenu.



La courbe n° 1 se rapporte à une lampe à trois électrodes avec un filament de 22 mm. à 15 °/°° de thorine et non carburé. (Tableau n° 4). Les autres courbes se rapportent à des filaments identiques mais carburés à 3 %, 7 %, 10 °/° et 14 °/°.

Ces courbes expérimentales ne sont pas parallèles. Les cathodes, au fur et à mesure de l'augmentation du taux de carburation, émettent moins, et le maximum de saturation qu'on peut obtenir baisse. Alors que l'on peut obtenir, pendant un temps très court il est vrai, 90 milliampères par watt de chauffage avec un filament ordinaire, il est presque impossible de l'obtenir avec une cathode carburée à 14 %.

D'après le réseau des courbes, la consommation d'un filament pour avoir la même émission est d'autant plus grande que le filament est plus carburé.

Les lampes peu carburées se rapprochent de la lampe normale.

mais ne durent pas suffisamment ; les lampes fortement carburées s'en éloignent largement.

Si l'on pousse la température, l'émission baisse pour arriver finalement à 2.500° K à celle du tungstène comme dans le cas de la cathode thoriée ordinaire.

A la fin de sa durée normale, la cathode consomme plus qu'au début. Elle acquiert la même consommation qu'elle aurait si le filament normal se trouvait dans les mêmes conditions de température. Peu après, l'émission devient nulle. Il y donc décomposition en fonctionnement, soit du carbure de tungstène, soit du carbure de thorium.

Voici quelques exemples :

Une lampe à filament thorié sous 4 v 8 et 67 mamp. consomme environ 0 w 321 et donne 20 milliampères de saturation soit 62 m Amp./5 par watt de chauffage. La même lampe à filament thorié mais carburé à 6 % consomme, sous 4 v 8, environ 63 mAmp. et donne 16 milliampères de saturation, soit 53 milliampères par watt de chauffage. Si nous voulons lui faire débiter 62mAmp5 comme à la précédente, il faudra porter la puissance du chauffage de 0w321 à 0w350. Et la température de la cathode carburée sera supérieure à celle qui ne l'est pas.

De tous ces résultats, on déduit que pour les fortes carburations de 8 à 14 % :

1°) l'augmentation de durée est relativement faible alors que la dépense d'énergie supplémentaire entraînée pour le chauffage du filament est assez considérable.
2°) Le courant émis par le filament diminue avec l'augmentation du taux de carburation.

L'expérience prouve que le bon taux de carburation est entre 5 et 7 %. Il serait avantageux de carburer moins, mais la durée s'en ressentirait.

Malgré tous ces inconvénients, l'emploi de cette cathode est intéressant, parce qu'elle permet d'avoir des tubes qui pouvant supporter des températures relativement élevées peuvent débiter beaucoup et cependant « durer », ce qu'il serait impossible d'obtenir avec un filament non carburé.

F. — ACTION DES GAZ.

Le thorium est un « getter » énergique, c'est-à-dire qu'il est susceptible de se combiner à presque tous les gaz.

Deux cas peuvent se présenter :

1°) le composé formé est stable, sa tension de vapeur est faible ;

2°) le composé formé est instable. Il a une tension de vapeur appréciable à la température de fonctionnement de la cathode.

Le vide se mesure comme il a été indiqué au chapitre I, en rendant la grille négative. Lorsque la lampe a été réellement mal vidée, il n'y a pas d'émission et même pour une très faible trace de gaz, la saturation est fortement diminuée. Il faut toutefois se méfier d'apprécier de cette façon la valeur d'un tube car la chute de la saturation peut être aussi occasionnée par un manque de formation de la cathode.

1°) **Composés stables** : Lorsque cette chute est dûe au mauvais vide, on peut l'expliquer par la formation d'un composé de thorium stable, se formant à chaud et empêchant l'émission.

La saturation baisse alors au fur et à mesure de la formation du composé, et elle devient nulle ou presque, lorsque la cathode a toute sa surface recouverte de ce composé.

Celui-ci se forme rapidement si le gaz est dans l'ampoule, petit à petit s'il provient d'un dégagement. De toutes façons, on tend vers l'émission du composé. Si nous avons à faire à de l'oxygène, on tend vers l'émission de la thorine qui est notablement inférieure à celle du thorium. La carburation joue donc ici un rôle supplémentaire : celui de combattre la formation superficielle de l'oxyde de thorium, en le réduisant.

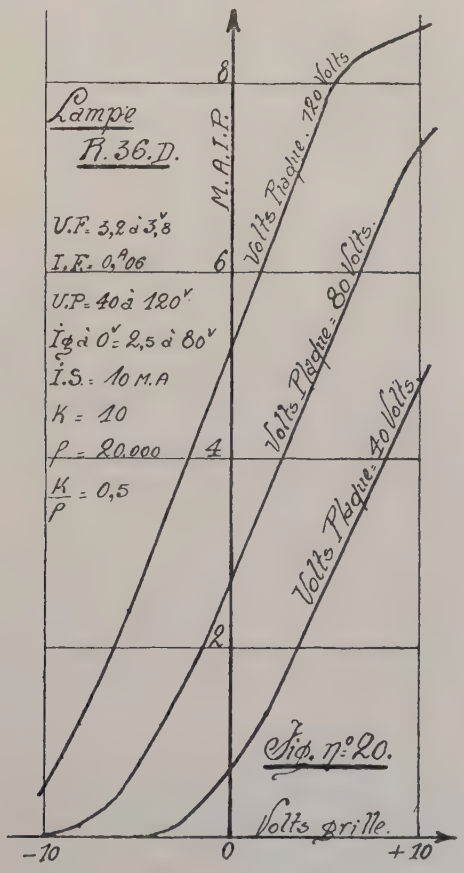
2°) **La tension de vapeur du composé est assez élevée.** Si le composé formé avec le gaz et le thorium a une tension de dissociation appréciable à la température de fonctionnement de la cathode, la combinaison entre le thorium et le gaz ne pourra se faire que lorsque le gaz sera à l'intérieur du tube à la pression de dissociation du composé.

On aura, pendant les premières fractions de gaz dégagé,

une augmentation du courant permanent et aussi du courant de saturation. Cette augmentation proviendra du courant d'ionisation qui s'ajoutera au courant normal. Elle se produira jusqu'à ce que la pression du gaz dans le tube ait atteint la pression de dissociation du composé. Au-dessus de cette limite, la saturation baissera pour arriver à la valeur d'émission du composé formé à cette température. Ce phénomène se produit surtout lorsqu'il y a un dégagement gazeux provenant des électrodes ou du verre ou des supports.

Quelques exemples de lampes à filaments thoriés.

A titre d'exemple, nous donnerons les réseaux de caractéristiques relatifs à 3 lampes et donnant le courant anodique débité en fonction du potentiel de grille, à tension d'anode constante.



1°) La R. 36 D dite lampe à faible consommation. C'était il y a quelques années une lampe courante (fig. n° 20).

2°) La E. 27 à filament thorié carburé. C'est une lampe de moyenne puissance de 10 watts (fig. n° 21).

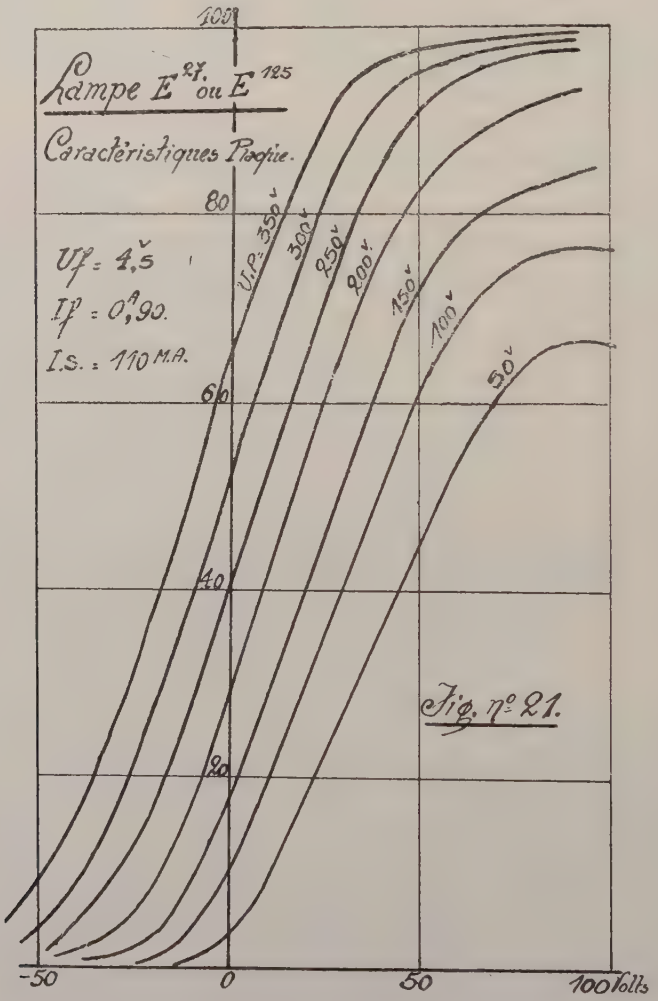


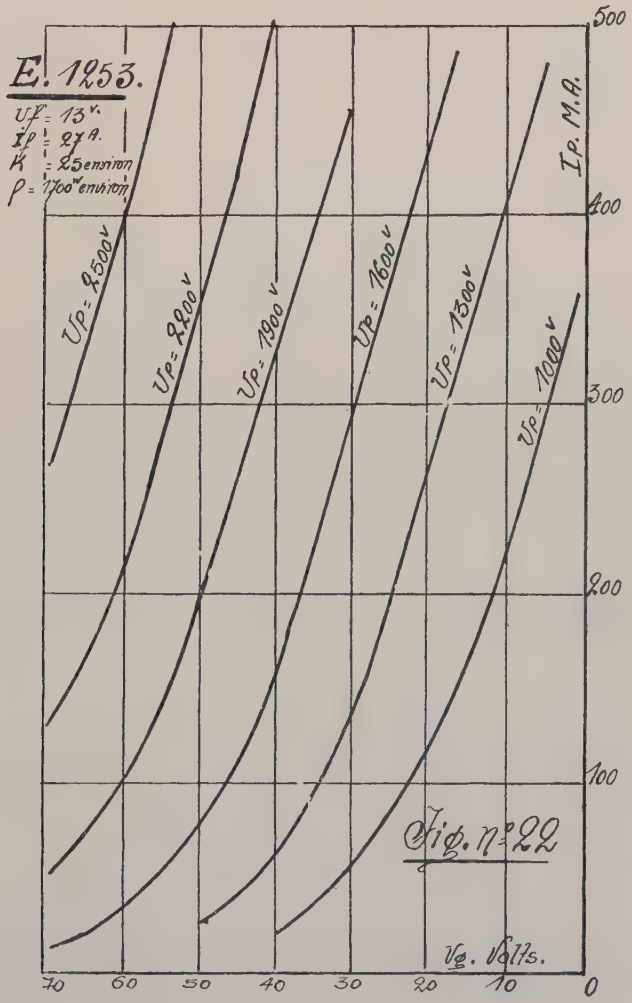
Fig. n° 21.

3°) Une lampe de 2 Kw à filament thorié carburé (fig. 22).

Il est très intéressant d'avoir des lampes d'émission à filament thorié puisqu'un tel filament peut débiter en régime permanent ce qu'un filament de tungstène ne peut donner qu'en saturation.

On pourra en outre avec de telles lampes fonctionner avec des voltages réduits.

Mais jusqu'ici, surtout pour des raisons mécaniques et des difficultés de construction, on n'est pas allé au delà de 2 kilowatts.



CHAPITRE IV

Cathodes à oxydes rapportés

A. — GENERALITES.

Les propriétés émettrices des oxydes de baryum et de strontium sont connues depuis longtemps et les cathodes à oxydes existaient bien avant celles à tungstène thorié. Mais malgré des perfectionnements incessants, et leur forte émission, elles furent à un moment supplantées par ces dernières. Et même par la suite, elles n'ont pas réussi à éliminer d'emblée les cathodes thoriées du domaine de la pratique. Ce n'est qu'en 1928, avec le filament au baryum et avec les lampes à chauffage indirect que les cathodes à oxydes rapportés furent l'objet d'un grand développement industriel.

Nous étudierons plus particulièrement dans ce chapitre les cathodes dites de WEHNELT qui peu employées pour les petites lampes à chauffage direct, sont utilisées pour les lampes amplificatrices de moyenne puissance et les lampes à chauffage indirect. Elles présentent d'ailleurs un gros intérêt au point de vue théorique.

Elles sont constituées par un support qui peut être en platine, en nickel ou en tungstène et sur lequel on fait adhérer des carbonates ou d'autres composés alcalino-terreux de calcium, de strontium ou de baryum ou même encore un mélange de ces composés. Les photographies 3 et 4 montrent respectivement un filament de nickel apprêté pour recevoir une couche d'oxyde, et le même filament recouvert de cette couche.

PREPARATION ET TRAITEMENT

Il est chimiquement impossible de faire adhérer sur le

support le composé alcalino-terreux à l'état d'oxyde anhydre, état cependant dans lequel il doit être pour émettre fortement.

L'oxyde d'ailleurs se carbonate ou s'hydrate très facilement à l'air. L'hydrate est trop difficile à décomposer même dans le vide pour être utilisé commodément. On préfère des corps plus facilement décomposables, tels que les carbonates, les bioxydes, etc. Mais, lorsqu'on en enduit les supports, il faut bien prendre soin d'éviter leur décomposition. Celle-ci ne doit se produire que lorsque le filament a été porté à une température élevée, après étuvage, sur pompe et dans le meilleur vide possible. On volatilise alors du magnésium utilisé comme getter et on coupe la lampe.

On commence le traitement de la cathode dès que la lampe est culottée. On la porte à 1500° environ. Après avoir prolongé ce traitement pendant un quart d'heure, on porte la cathode à 1300° environ pendant 1/2 heure et en appliquant sur la plaque une tension de 120 v. Il se produit souvent un dégagement gazeux qui pourrait amener la rupture du filament, mais on prend la précaution d'intercaler une résistance dans le circuit filament-plaque qui limite le débit et en même temps ce dégagement gazeux.

Pendant une autre demi-heure on porte la cathode à 1000° et on applique sur la plaque la tension normale de fonctionnement. On mesure alors le courant de plaque et le vide réalisé et on livre cette lampe à la consommation si elle satisfait à tous les essais.

Si le corps fixé préalablement sur le filament était un carbonate, on obtient des lampes à débit assez irrégulier au début et dû à des traces de gaz carbonique restant dans le tube. Ce gaz ne nuit pas à la durée de la lampe lorsqu'il est en faible quantité, mais il limite son emploi.

Comme nous le montrerons par la suite, ce traitement est uniquement fait pour obtenir sur le cathode le plus possible de baryum libre et qu'il faut ensuite empêcher de se volatiliser.

B. — CONSTATATIONS EXPERIMENTALES

Au cours de l'étude des cathodes de Wehnelt, divers auteurs ont constaté la présence de baryum sur le filament et les électrodes et celle d'oxygène dans le tube.

1°) **Présence du baryum sur le filament.**

Pour la clarté de l'exposé, supposons qu'il n'y ait que de l'oxyde de baryum. Lorsque, pour la former, on chauffe une cathode à oxydes dans le vide, on constate que l'oxyde devient conducteur et que la cathode émet d'autant plus que la couche est plus conductrice. La conductibilité de la couche peut être un million de fois plus forte qu'elle n'était auparavant et devenir ainsi du même ordre de grandeur que celle d'un métal.

Mais la cathode ayant été ainsi activée, faisons-lui subir plusieurs essais :

a) Chauffons-la vers 1600° K nettement au-dessus de sa température de formation ; l'émission diminue et la résistance de la couche augmente. L'émission et la conductibilité redeviennent normales si nous portons pendant quelques instants la cathode entre 900° et 1000° K.

b) Introduisons de l'oxygène dans le tube ; l'émission diminue. On constate un véritable empoisonnement de la cathode. Cet empoisonnement est total et correspond à une émission nulle, lorsque la pression de l'oxygène atteint le millième de millimètre de mercure.

Ces expériences prouvent que l'augmentation de résistance de la couche d'oxyde activée ne peut provenir que d'un changement moléculaire ; en effet, ni sa section, ni sa longueur n'ont varié. Elles prouvent aussi qu'il y a corrélation très étroite entre les propriétés émissives de la cathode et sa conductibilité. Or, elles s'expliquent très bien si l'on admet, avec tous les auteurs actuellement, qu'il y a production de baryum et que l'émission est liée à la partie de la surface effectivement recouverte de baryum.

Nous savons en effet qu'à une même température et pour un même corps l'émission électronique n'est qu'une question de surface. Nous devons distinguer pour la compréhension de ce qui va suivre deux surfaces d'émission :

a) La surface d'émission apparente qui est la surface extérieure totale, géométrique de la cathode ;

b) La surface d'émission proprement dite qui est la partie réellement active de la précédente.

La surface géométrique d'une cathode a une valeur déterminée pour un type de lampe déterminé. Mais il est bien difficile de donner exatement la valeur de la surface active d'une cathode. On peut seulement calculer l'émission maxima de toute la surface apparente ou géométrique par application de la loi de RICHARDSON qui donne le courant de saturation correspondant. Et pour obtenir réellement ce courant, il faudrait que le corps actif recouvre toute la surface géométrique de la cathode. Or, pratiquement, ceci n'arrive jamais et c'est pourquoi des lampes de même type auront des débits différents, car leur surface active sera différente.

Dans le cas actuel, si toute la surface de la couche n'est pas recouverte de baryum, cela ne peut être que pour trois raisons :

a) parce que la formation n'a pas été suffisante

b) parce que la température est trop élevée et que le baryum se volatilise au fur et à mesure qu'il vient de l'intérieur recouvrir la surface de l'oxyde. Et, lorsqu'on chauffe en effet de nouveau la cathode en-dessous de cette température de rapide volatilisation, l'émission tend à redevenir normale. Nous avons vu au chapitre III que la même chose se produisait avec le thorium dans le cas des filaments thoriés.

c) parce que le baryum recouvrant la surface forme, avec l'oxygène par exemple, un composé ne pouvant plus émettre, ici l'oxyde de baryum.

Et ce sont justement ces trois raisons qui influent aussi sur la conductibilité électrique de la couche d'oxyde.

2° Présence du baryum sur les électrodes.

Mais il y a plus : il y a du baryum métallique provenant de la décomposition de l'oxyde de baryum non seulement sur la cathode mais aussi sur les autres électrodes.

Suivant les règles établies au paragraphe «Emission secondaire» du chapitre I, nous avons mesuré l'émission secondaire de grille de différentes lampes à oxydes.

Nous avons constaté que celles qui avaient l'émission secondaire de grille la plus faible étaient les lampes dont la grille avait été recouverte d'oxyde de molybdène. Et ce fait est très compré-

hensible, si l'on admet que du baryum est venu se condenser sur la grille. En effet, lorsque du baryum se trouve sur une grille en molybdène pur, l'émission est forte. Mais, si sur la grille il y a de l'oxyde de molybdène, celui-ci se transforme en oxyde de baryum et libère du molybdène. Or, l'oxyde de baryum et le molybdène donnent une émission secondaire très faible.

3° Présence d'oxygène dans le tube

Mais s'il y a du baryum sur les électrodes, celui-ci ne peut provenir que de la scission de la combinaison BaO en baryum et en oxygène et par conséquent de l'oxygène doit exister dans le tube. Effectivement on a pu mettre en évidence la présence de cet oxygène. Par exemple, le gaz recueilli dans un tube de Gessler avait un spectre qui était celui de l'oxygène à faible pression.

Cet oxygène se dégage surtout au début de la formation de la cathode et le dégagement peut même comme on l'a vu, être très important. si l'anode est positive.

Par contre, il n'est plus décelable lorsque la cathode est formée et que le tube fonctionne en régime normal.

C. ACTION SECONDAIRE DES SUPPORTS

Pour l'interprétation des faits, il faut aussi tenir compte de l'influence des supports, influence secondaire certes, mais qui est importante cependant.

Le support peut en effet avoir une influence sur l'émission :

1°) parce qu'il contient des impuretés ; ces dernières peuvent diminuer la quantité de baryum libre. C'est un cas que nous envisagerons plus loin.

2°) parce qu'il contient un métal qui peut facilement s'allier au baryum.

3°) Parce qu'il contient un métal qui peut réduire l'oxyde de baryum et augmenter ainsi la quantité de baryum libre par rapport à l'oxyde en réserve. C'est le cas de l'aluminium. Lowry prétend avoir obtenu des émissions très supérieures avec le konel qui est un alliage de fer, de titane, de nickel et de cobalt.

4°) parce qu'il contient du baryum libre qu'on lui a incorporé. Ce baryum en excès augmente la durée de la cathode et régularise l'émission.

D. — EXPOSE DES DIVERSES THEORIES RELATIVES A LA FORMATION DES CATHODES A OXYDES ET AU PROCESSUS DE LEUR EMISSION.

Toute théorie sur le processus d'émission doit évidemment permettre entre autres choses d'expliquer les faits précédents sur lesquels les différents auteurs sont tous d'accord.

Nous allons examiner les diverses théories proposées jusqu'ici. Nous constaterons que si les auteurs sont d'accord sur les faits, ils ne le sont plus du tout sur l'interprétation de ceux-ci. Nous examinerons ensuite comment il nous paraît possible de concilier certaines divergences irréductibles au premier abord.

a) THEORIES CHIMIQUES :

1) Première théorie de Gehrts.

Dissociation thermique de l'oxyde Ba0 et production du baryum

Dans cette théorie, le baryum serait produit par dissociation thermique de l'oxyde de baryum. Celui-ci se scinderait en baryum et oxygène. Le baryum resterait sur la cathode alors que l'oxygène se dégagerait dans le tube à l'état neutre. On aurait :

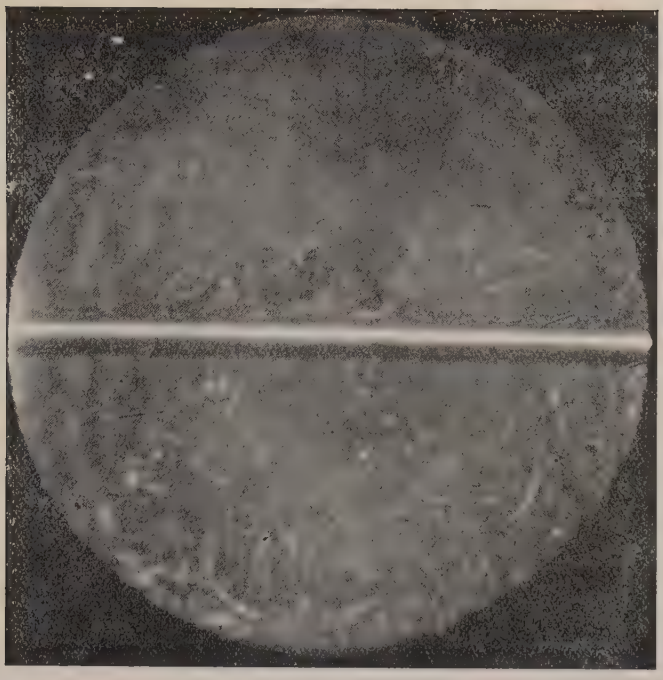
$$2Ba\,O = 2Ba + O^2$$

Formation d'oxyde de baryum et Emission d'électrons.

L'émission électronique proviendrait de la combinaison du baryum et de l'oxygène qui en reformant l'oxyde de baryum donnerait lieu à une production d'électrons.

Cette théorie de l'émission par action chimique a été suggérée par la découverte de la production d'électrons lents dans l'attaque des métaux alcalins par le phosgène ($C\,O\,Cl^2$), l'iode, etc...

Mais, plus tard, des expérimentateurs ont prouvé que la réaction :



No 3. Filament de nickel apprêté pour recevoir l'oxyde.

No 4. Le même filament recouvert d'une couche d'oxyde.

$$2\,Ba + O^2 = 2\,Ba\,O$$

ne donnait lieu à aucune production d'électrons.

Cette théorie fut d'ailleurs complètement abandonnée dès que LANGMUIR eut démontré la nature physique de l'émission électronique.

GEHRTS fut alors amené à modifier de lui-même sa théorie.

2) DEUXIEME THEORIE DE GEHRTS

α Production du baryum.

Il serait produit, comme dans sa première théorie, par dissociation thermique de l'oxyde.

β Emission d'électrons.

L'émission électronique serait celle du baryum. Elle se ferait à la surface de la cathode, suivant la théorie de LANGMUIR et la volatilisation du baryum superficiel serait ralentie par suite de sa recombinaison avec l'oxygène contenu dans le tube et provenant de la dissociation précédente.

γ Recombinaison du baryum.

Cet oxygène du tube capterait en effet d'après GEHRTS des électrons de l'atmosphère électronique pour former des ions négatifs 0^2. (La présence de ces ions aurait été constatée par BARTON. Toutefois BECKER nie cette présence) et ces ions se formeraient surtout au voisinage de la cathode.

Puis, invoquant la facilité avec laquelle du bioxyde se produit lorsqu'on chauffe à l'air libre de l'oxyde de baryum, il en conclut à la combinaison du baryum superficiel et positif avec les molécules d'oxygène négatives pour former du bioxyde BaO^2. Ce bioxyde serait ensuite décomposé en oxyde de baryum BaO.
On obtient ainsi le cycle $BaO \text{———} Ba \text{———} BaO^2 \text{———} BaO$, la superoxydation se produisant avant l'oxydation.

REFUTATION DE LA THEORIE DE GEHRTS.

Il est à peu près certain que l'oxygène se dégage du filament à l'état neutre. C'est du reste l'avis de BECKER, partisan de la

théorie de la dissociation électrolytique que nous étudierons plus loin et de la plupart des auteurs. Mais, s'il peut sembler normal que, dans le tube, quelques molécules neutres d'oxygène puissent capter un électron et en nombre d'autant plus grand que la densité électronique et la quantité de molécules d'oxygène sont elles-mêmes plus grandes, il y a lieu de faire toutefois à la théorie précédente plusieurs objections :

1° — La formation de ces ions 0^2 doit pouvoir se produire assez loin de la cathodes et des atomes positifs de baryum contrairement à ce que le suppose GERHTS.

2° — Il n'y a aucune raison pour que dans le tube, les ions négatifs 0^2 n'aillent pas vers l'anode. Ils sont évidemment lourds, lents, mais en fonctionnement normal, la charge d'espace entre l'anode et la cathode n'est pas suffisante pour les repousser vers la cathode ou les empêcher d'aller vers l'anode, comme le voudrait la théorie de GERHTS.

3° — Il est bien difficile d'admettre la production de bioxyde BaO^2 pour la raison bien simple que sa pression de dissociation à la température de la cathode est de l'ordre de 871 mm. de mercure. Par conséquent, s'il se formait il serait immédiatement décomposé et on retomberait sur l'oxyde BaO.

Il n'est pas utile d'ailleurs de faire intervenir ce bioxyde dont la formation est douteuse et dont la présence n'est nullement nécessaire au fonctionnement du tube.

4° — Cette théorie enfin n'explique pas l'empoisonnement de la cathode dans sa masse, car l'action des ions 0^2 sur la cathode ne peut être que superficielle.

Or, lorsqu'elle est empoisonnée, non seulement la cathode n'est plus recouverte de corps actif, mais encore lorsque l'empoisonnement est total, toute la couche d'oxyde perd sa conductibilité.

3) Théorie de Lowry.

LOWRY attache une grande importance dans l'action du support. Il prétend notamment que le konel donne de biens meilleurs résultats que le platine. Le konel est un alliage composé de fer, de nickel, de titane et de cobalt.

D'après lui, l'oxyde de baryum serait réduit par le support,

le baryum libéré restant sur celui-ci, mais il n'y aurait pas de baryum produit pendant le fonctionnement normal du tube.

En outre, ce baryum émettrait sur le support même et les électrons diffuseraient entre les interstices de l'oxyde. La volatilisation du baryum ne serait donc retardée que par la présence d'oxyde.

Réfutation.

Cette théorie n'explique pas le dégagement d'oxygène au moment de la formation de la cathode et sous l'effet de la tension anodique.

En effet, s'il y a simplement réduction de l'oxyde de baryum par le support, l'oxygène est absorbé par le métal réducteur et ne peut pas se dégager. Le cas est nettement différent de celui de la réduction de l'oxyde de thorium par le tungstène (voir chapitre III) car dans ce cas la température du filament est suffisante pour provoquer la volatilisation de l'oxyde de tungstène formé. Dans le cas présent, au contraire, la température est insuffisante pour volatiliser l'oxyde du métal réducteur et il ne peut y avoir qu'une simple réduction non suivie de volatilisation.

Il est à remarquer que dans cette théorie, comme du reste dans celle de Murgoci et Reimann que nous verrons plus loin, les auteurs, ne tiennent pas compte des faits expérimentaux. Nous voulons parler de la perte d'émission par élévation de la température de la cathode. Elle peut s'expliquer facilement par la volatilisation d'une couche superficielle de baryum. L'explication de ce fait est difficile à donner en admettant l'émission du baryum sur le support même.

B. — THEORIES ELECTROLYTIQUES.

1) Théorie de FREDENHAGEN.

α) Formation du baryum.

Alors que le baryum était produit par dissociation thermique de l'oxyde de baryum dans la théorie de GERHTS, il le serait par dissociation électrolytique dans celle de FREDENHAGEN et cette dissociation serait provoquée par le courant d'anode.

β) **Emission d'électrons et formation de l'oxyde de baryum.**

Comme dans la première théorie de GERHTS, il y aurait formation d'oxyde de baryum à la surface même de la cathode et l'émission serait dûe à la recombinaison du baryum et de l'oxygène. Or, comme nous l'avons vu, ceci est faux. Aussi, cette dernière partie ayant trait au processus d'émission a-t-elle été abandonnée.

Mais la première partie de la théorie, celle de la formation du baryum par électrolyse à partir de l'oxyde de baryum a encore des partisans et BECKER est un de ceux qui se sont attachés à la question.

2. Théorie de Becker.

α) **Production du baryum.**

Tout d'abord, Becker admet avec tous les auteurs que l'émission est dûe au baryum métal et non à l'oxyde.

Ce baryum serait produit par électrolyse de l'oxyde de baryum. Les raisons qu'il invoque sont les suivantes :

a) On trouve du baryum sur le métal du support.

b) Un filament à revêtement d'oxydes et chauffé à une température élevée pendant un temps assez long ne dégage pas de gaz en quantité appréciable à condition qu'il n'y ait pas de tension d'anode. Au contraire, dès que le courant électronique apparaît, une grande quantité de gaz se trouve libérée. L'action d'un champ électrique serait donc nécessaire pour qu'il y ait décomposition de l'oxyde.

c) La production du baryum par décomposition thermique serait impossible (c'est aussi l'avis du Dr Willars). Si, en effet, on calcule avec la formule de Nernst, la pression de dissociation de l'oxygène à 1000° K la température normale de fonctionnement, on trouve qu'elle est de l'ordre de 10^{-40} atmosphère, c'est-à-dire complètement négligeable.

Et cependant, Becker admet que le baryum et l'oxygène libérés par électrolyse ne se recombinent pas chimiquement aussitôt puisque l'émission est produite par le baryum métallique. Il n'explique d'ailleurs pas la reformation de l'oxyde.

B) **Processus d'émission.**

Le baryum serait formé à la surface de la couche à l'état d'ion électrolytique. Il irait se neutraliser à la cathode électrolytique (le support), puis rediffuserait vers la surface de l'oxyde.

Il y aurait donc :

a) Un courant d'ions Ba++ allant de la surface de l'oxyde vers l'intérieur de la couche d'oxyde.

b) Un autre courant d'atomes de baryum neutres allant du support vers la surface de la couche.

3) **Théorie de Murgoci et de Reimann.**

Ces auteurs basent leur théorie sur le fait que dans l'électrolyse des dielectriques solides une seule espèce d'ions est mobile, ordinairement le positif.

Ils supposent donc que l'ion Ba++ est mobile tandis que l'ion O-- serait immobile.

Alors que Becker admet le déplacement des ions baryum et oxygène, Murgoci et Reimann admettent seulement celui des premiers.

L'oxygène resterait dans la couche d'oxyde ou se répandrait dans le tube suivant les forces qui agiraient sur lui. Le baryum se neutraliserait à la cathode électrolytique. Ce baryum resterait **sur le support** et c'est lui qui émettrait des électrons. Il ne diffuserait pas vers la surface et les électrons émis passeraient à travers la couche d'oxyde.

REFUTATION DE CES THEORIES.

Ces diverses théories de l'électrolyse ne sont pas irréfutables.

En ce qui concerne la production du baryum et de l'oxygène.

a) Il n'est pas absolument indispensable que l'anode soit sous tension pour que l'on puisse former la cathode.

Nous avons pu, en effet, obtenir cette formation, et de nombreux expérimentateurs avec nous, uniquement par des traitements thermiques appropriés et sans tension d'anode. Certes

une telle tension favorise la formation de la cathode, mais cette action peut très bien s'expliquer et tout autrement que par l'électrolyse ; nous reviendrons plus loin sur ce point.

Signalons d'ailleurs l'expérience de L—G Davis. Un tube ayant été traité de telle façon que pendant la formation de la cathode il ne se produise aucun courant d'électrons on met, pendant une durée très petite (0,01 seconde), la plaque sous tension : on obtient alors la même émission qu'avec la cathode activée normalement.

Or, ce temps est insuffisant : 1°) pour électrolyser l'oxyde de baryum ; 2°) pour que le baryum libéré aille se neutraliser sur le support faisant fonction de cathode électrolytique ; 3°) pour que ce baryum émette sur le support ou 4°) qu'il rediffuse vers la surface.

Gehrts, d'autre part, fait remarquer que le dégagement d'oxygène augmente :

1) à tension de plaque constante avec la température de la cathode ;

2) à température constante avec la valeur du courant électronique ;

3) pour un courant électrique constant avec la tension de la plaque.

On peut admettre à la rigueur que l'électrolyse de la couche puisse varier avec la température de la cathode. Elle doit certainement varier avec la valeur du courant électrique, Mais il parait difficile d'admettre que le dégagement d'oxygène, c'est-à-dire la quantité d'oxyde électrolysée augmente avec la tension d'anode, sous courant électronique constant. Seule, en effet, l'intensité du courant régit l'électrolyse.

Au surplus, s'il y a électrolyse, que devient l'ion (0- -) que les partisans de la théorie électrolytique ont complètement négligé ? Si BARTON croit avoir trouvé quelques molécules négatives d'oxygène et dont la présence reste encore douteuse, la plupart des auteurs, BECKER en tête, estiment que l'oxygène se dégage du filament à l'état neutre.

b) On comprend mal d'autre part, pourquoi le baryum ne prendrait naissance qu'au début de la formation de la cathode,

pourquoi le dégagement d'oxygène cesserait ou deviendrait négligeable lorsque la cathode est formée, car un même courant électronique devrait libérer pendant comme après une même quantité d'ions.

On pourrait peut être invoquer, il est vrai, une mobilité réduite des ions, étant donnée la température relativement basse de fonctionnement normal.

c) Enfin par quoi, au début, est provoqué ce courant d'électrolyse ?

Finalement, l'argument le plus sérieux invoqué par les partisans de l'électrolyse est un argument négatif : d'après les calculs du Dr S. WILLARS sur la dissociation de l'oxyde de baryum, la tension de dissociation ne serait que de 10^{-40} atmosphères, et on ne pourrait invoquer que le phénomène électrolytique là où il n'y a pas la dissociation thermique.

Argument négatif en effet puisque si l'oxyde de Ba n'était pratiquement pas dissociable, le baryum libéré devrait se combiner immédiatement à l'oxygène, et l'émission, si elle avait lieu, ne serait pas durable.

d) **Théorie de V. C. MAC. NABB.**

Cet auteur prétend que la dissociation de l'oxyde de baryum serait provoquée par le choc des molécules gazeuses ionisées sur la surface du filament. L'anhydride carbonique donnant à ce point de vue les meilleurs résultats, il recommande donc l'emploi des carbonates alcalino-terreux.

Réfutation.

Mais cette action de choc n'est nullement nécessaire puisque nous avons obtenu de bons résultats en employant du bioxyde de baryum sur le support au lieu de carbonates et que ce bioxyde après pompage se décompose intégralement dans le vide en oxyde BaO et oxygène qui s'ionise difficilement.

Du reste, cette formation de baryum par choc des molécules gazeuses ionisées ne peut se produire qu'à la surface de l'oxyde. Et il est difficile alors de comprendre pourquoi on trouve du baryum sur le support et pourquoi la couche d'oxyde est conduc-

trice. La production du baryum serait d'autre part liée au nombre d'ions positifs dans le tube, donc au degré de vide (voir chapitre I). Or ceci est contraire à l'expérience puisque l'émission est d'autant plus forte que le vide est meilleur.

e) THEORIE DU SOUS-OXYDE DE BARYUM.

Enfin, dans certains brevets et dans certains articles, on parle d'un « sous-oxyde de baryum » pour désigner le produit actif de la cathode une fois formée.

Or, malgré les nombreux essais qui ont été faits jusqu'à présent, jamais un expérimentateur n'a réussi à isoler un oxyde de baryum moins riche en oxygène que l'oxyde normal et de formule Ba 0.

Du reste, ceux qui parlent de ce sous-oxyde ont bien soin de ne pas lui donner de formule.

Aussi, parler de sous-oxyde parait bien complètement illusoire, d'autant plus que le baryum à l'état libre sur la cathode est en proportion extrêmement faible par rapport à celui de l'oxyde de baryum.

E. — THEORIE PROPOSEE.

A toutes les théories exposées, nous avons été amenés à faire quelques objections, les unes graves, les autres plus secondaires. Il serait vain de chercher à concilier tant de points de vue différents. Cependant, dans l'essai d'explication que nous allons tenter de faire des différents phénomènes en jeu, dans la théorie que nous allons proposer à notre tour, il sera aisé de trouver quelque partie commune avec chacune des théories précédentes.

I) — Décomposition de l'oxyde de baryum BaO.

En particulier, pour ce qui concerne la formation du baryum, nous adopterons le point de vue de Gehrts, à savoir qu'il provient d'une dissociation thermique de l'oxyde de baryum qui est sur le support.

Cette première opération se ferait entre 1400° et 1500° K

et durerait 1/4 d'heure. Son rôle est de libérer le plus possible de baryum au sein de l'oxyde.

Le baryum resterait dans la couche d'oxyde. Mais, c'est au contact du métal support, là où la température est la plus élevée, qu'il se trouverait surtout.

Quant à l'oxygène qui vient de quitter sa molécule d'oxyde, il est susceptible de se fixer sur des grains d'oxyde non décomposés, auxquels il pourra adhérer fortement si la température et le vide ne sont pas suffisants pour qu'il puisse s'échapper à l'extérieur de la couche et se répandre dans le tube. Il ne faut pas oublier qu'on a un milieu poreux et que l'oxygène dans ce milieu peut être condensé sous une pression assez forte.

II) — **Dégagement de l'oxygène et formation de la couche active.**

Quoiqu'il en soit la deuxième opération, dont le but est de faire diffuser les atomes de baryum libérés vers la surface de la couche, se fait vers 1300° et portant simultanément l'anode à une tension positive.

Dès que cette tension s'exerce, il y a un fort dégagement d'oxygène dans le tube qui est aussitôt absorbé, (en grande partie, par les électrodes, les parois, les getters, etc...) Ce dégagement qui coïncide avec le début du courant électronique serait dû alors à un **effet d'entraînement** et pas du tout à une électrolyse.

Quant au baryum qui est formé dans les parties les plus chaudes de la cathode, il va diffuser, lui aussi, vers la surface, mais beaucoup plus lentement que l'oxygène, dont les atomes sont plus légers. Pratiquement, la diffusion du baryum n'a lieu que lorsque celle de l'oxygène est finie. Et effectivement, lorsque la cathode est formée, quand sa surface extérieure est recouverte d'atomes de baryum, le dégagement d'oxygène cesse. De plus l'entraînement de l'oxygène, s'il y a entraînement, doit forcément augmenter et c'est bien ce que confirme l'expérience :

1° — à tension de plaque constante avec la température de la cathode car le courant électronique et son action « entraînante » sont plus intenses ;

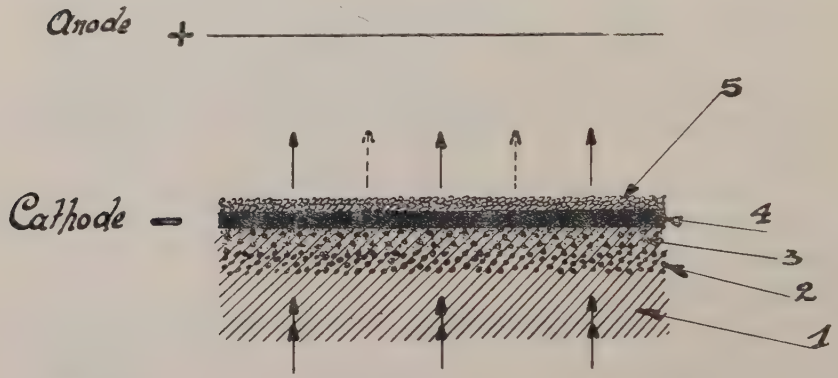
2° — à température constante avec la valeur du courant électronique pour la même raison ;

3° — pour un courant électronique constant avec la tension de la plaque car les électrons, étant plus rapides, ont un effet d'entraînement plus grand.

III) — **Fonctionnement normal. — Processus d'émission.**

Nous voyons donc facilement que la diffusion et l'émission se font d'une façon analogue à celle du thorium.

Voici, d'après nous, comment se présente schématiquement la cathode à oxydes :



1 : support
2 : oxyde de baryum
3 : baryum
4 : couche de baryum
5 : atmosphère électronique.
⇠ Sens de diffusion des atomes de baryum à travers le support.
← Sens de la marche des électrons.
⇠ Sens du dégagement d'oxygène.

Nous pourrions répéter ici tout ce que nous avons dit au moment de l'étude des cathodes en tungstène thorié. Il y a évaporation, « entraînement » du baryum superficiel, mais ce baryum, en régime normal, est remplacé par du baryum venu de l'intérieur de l'oxyde par diffusion.

Enfin, quand la plus grande partie du baryum contenu dans la couche ou sur le support est évaporée, ou oxydée, la cathode a vécu.

IV — Anomalies, empoisonnement de la cathode.

Si l'on chauffe trop, l'évaporation l'emporte, la surface active diminue et l'émission électronique aussi. Si on abaisse alors la température suffisamment, la diffusion l'emporte à son tour et la cathode se reforme.

D'autre part, le baryum et l'oxygène peuvent se combiner à la surface même de la couche active pour reformer l'oxyde. Il en résulte tout naturellement une diminution de la surface active et un abaissement du pouvoir émissif, de la cathode si la quantité d'oxygène est trop forte. Si l'oxygène est en quantité suffisante, l'empoisonnement de la cathode est total. Et même si la pression est très forte, l'empoisonnement peut se faire en profondeur et la cathode ne peut plus être reformée.

Conclusion. — La théorie proposée explique donc ainsi tout aussi bien la formation de la cathode et son fonctionnement normal que les différentes anomalies qui peuvent se présenter. Le rôle actif est certainement joué par le baryum qui arrive constamment par diffusion des couches profondes de l'oxyde à la surface libre. L'oxygène et l'oxyde semblent plutôt avoir un rôle « conservateur ».

Le phénomène de dissociation thermique de l'oxyde qui est surtout important au début de la formation doit avoir lieu en permanence mais le dégagement d'oxygène qui en résulte est très faible au cours du fonctionnement normal : l'oxygène libéré dans les parties les plus chaudes doit se recombiner en partie au baryum superficiel là où la température est moins élevée.

Quant à l'oxygène du tube, une partie vient se recombiner aussi à ce même baryum qui ne pourra plus ainsi se volatiliser aussi facilement, et par sa présence même, il ralentit l'évaporation superficielle du baryum. En régime normal, le nombre d'atomes de baryum arrivant à la surface et s'évaporant de la cathode est encore cependant considérable. Il est de l'ordre de 1000 par cm2 et par seconde.

Mais, si pour une raison quelconque, la quantité d'oxygène dans le tube diminue, l'évaporation du baryum augmente et la durée de la cathode diminue. Le rôle principal de l'oxygène est donc d'empêcher une trop rapide évaporation du baryum en se recombinant ou non avec lui. (Ce cas n'est possible que s'il n'y

a plus d'oxyde de baryum. En effet, si la pression d'oxygène diminue, aussitôt une certaine quantité d'oxyde doit se décomposer pour rétablir la pression d'équilibre).

Si, au contraire, la quantité d'oxygène augmente, le nombre de molécules ou d'atomes d'oxygène venant frapper la surface de la couche augmente aussi. L'équilibre alors est rompu, un nombre plus grand d'atomes de baryum sont absorbés et l'émission diminue. (Ce cas n'est possible que par un apport d'oxygène d'une source autre que celle de la cathode).

Plus la quantité d'oxygène augmentera, plus les atomes de baryum seront absorbés profondément dans la couche. La couche « s'empoisonnera ». C'est le résultat auquel on arrive avec une pression d'oxygène de 1×10^{-3} m/m de Hg.

Comme faits venant à l'appui de cette théorie, nous pouvons en citer deux principalement typiques :

1°) l'oxyde de baryum disparait plus rapidement que l'oxyde de strontium lorsqu'ils sont ensemble sur un même support et intimement mélangés. Des auteurs ont signalé ce fait à plusieurs reprises et nous l'avons nous-mêmes constaté.

D'après nous, ce fait ne peut être dû qu'à la différence de pression de dissociation de ces deux oxydes pour la même température.

On a, en effet, pour les chaleurs de formation :

$$Ba + \tfrac{1}{2}\,0^2 = 126 \text{ grandes calories} + BaO$$
$$Sr + \tfrac{1}{2}0^2 = 139.8 \text{ grandes calories} + SrO.$$

Et, d'après la loi de NERNST, plus la chaleur de formation est faible, plus la quantité de molécules d'oxyde dissociées est forte à la même température. Cette loi s'exprime en effet par la formule :

$$\log p = -\frac{a\,Q}{T} + B \log T + c$$

Dans laquelle p est la pression de dissociation, Q la chaleur de formation du composé qui se dissocie, T la température absolue et a, b et c des constantes relatives au cas envisagé.

Comme nous le savons, nous ne sommes pas dans les conditions ordinaires relatives aux dissociations chimiques et il est probable que la loi de NERNST ne peut pas s'appliquer ici quantitativement. Mais telle quelle cependant, elle peut nous

renseigner sur le sens dans lequel les phénomènes ont tendance à se produire.

2°) Dans la fabrication des fils de nickel utilisés comme support dans les cathodes à oxyde de baryum, on ajoute souvent du manganèse pour empêcher l'oxydation du nickel pendant la fusion du lingot et pendant la préparation de ces fils.

Si la manganèse est à faible dose, environ à 0,2 %, son action ne se fait pas sentir sur l'émission ; s'il dépasse 0,5 % l'émission des cathodes à oxydes est irrégulière. Au-dessus de 1 %, le résultat obtenu est franchement mauvais.

Il en est du reste de même si les oxydes rapportés contiennent de l'oxyde de manganèse. On peut donc admettre que le manganèse est dans le nickel à l'état d'oxyde de formule MnO qui est l'oxyde de manganèse le plus stable. Ceci dit, l'action du manganèse s'explique très bien. On a en effet, pour les chaleurs de formation des divers oxydes :

$$Ni + \tfrac{1}{2}\, O^2 = NiO + 63 \text{ grandes calories}$$
$$Mn + \tfrac{1}{2}\, O^2 = MnO + 90 \text{ grandes calories}$$
$$Ba + \tfrac{1}{2}\, O^2 = BaO + 126 \text{ grandes calories}$$

La chaleur de formation de MnO est intermédiaire entre celle des deux autres.

Donc, si l'oxyde de manganèse est en quantité suffisante, sa dissociation libèrera, après la pompage de la lampe, plus d'oxygène que celle de l'oxyde BaO.

Et cet oxygène ainsi libéré en excès, en venant se combiner au baryum superficiel de la cathode, «empoisonnera» celle-ci, L'émission baissera. Elle ne pourra redevenir normale que lorsqu'il n'existera plus d'oxyde de manganèse à dissocier. Ceci ne pourra évidemment arriver que si le baryum libre est en quantité suffisante pour absorber tout l'oxygène en excès.

CHAPITRE V

Cathodes dites au Baryum

A. — GENERALITES.

Nous avons signalé dans le chapitre précédent les inconvénients que peuvent présenter les lampes à oxydes rapportés et qui peuvent se résumer dans l'instabilité des caractéristiques d'une même lampe et l'irrégularité dans une série d'un même type de lampes.

Ces inconvénients sont dûs à la présence de gaz, le gaz carbonique et l'oxygène généralement. Il n'est pas douteux cependant qu'après pompage de la lampe et volatilisation du getter, ces gaz n'existent pas. Ils sont donc dégagés par la cathode lors de sa formation.

Or, après sa volatilisation, le getter n'a plus qu'une action minime et il ne peut avoir qu'une part très faible dans l'absorption de ces gaz.

Il a donc fallu chercher à obtenir une cathode qui dégage peu de gaz lors de sa formation et qui, malgré cela, contienne du baryum en grande quantité pour régulariser l'émission. On a obtenu ce résultat avec les cathodes dites au baryum.

Ce sont encore des cathodes à oxydes rapportés, mais en couche de faible épaisseur et contenant beaucoup de baryum libre.

Nous avons vu que dans la cathode à oxydes rapportés il y avait dissociation d'une partie de l'oxyde de baryum et que le baryum libéré diffusait vers la surface de la couche d'oxyde pour émettre, l'oxygène se répandant dans le tube.

Pour augmenter la quantité de baryum libre, deux moyens peuvent être employés :

1°) emprunter le baryum à l'oxyde par réduction de cet oxyde.

Ce moyen est peu employé dans l'industrie, mais il semble cependant donner de bons résultats. On peut mettre sur le support un élément capable de réduire Ba 0, l'aluminium par exemple ; ou mieux, volatiliser cet élément sur la couche d'oxyde, alors que le tube est sous vide. La difficulté de ce procédé est le dosage impossible du réducteur. Il faut cependant que la réduction ne soit que partielle et que l'oxyde de baryum existe en même temps que le baryum.

2°) Apporter du baryum en excès sur la cathode. Ce procédé est couramment employé dans l'ndustrie, et les tubes qu'on fabrique ainsi ont une longue durée, des caractéristiques régulières, une grande homogénité ; il sont appelés « tubes à cathode au baryum ».

DIFFERENTES FORMES DE CATHODES.

La cathode fonctionne ici à environ 1000° K. Les filaments, par suite de la faible température de fonctionnement, sont longs et de ce fait, montés en V, en N ou en M suivant la consommation du filament qu'on s'est fixée. On peut mettre des filaments en parallèle, soit en deux branches, soit en V soit en N.

Dans les lampes de puissance par exemple, pour augmenter la surface émissive par rapport à la consommation, il est certain que l'on a intérêt à monter plusieurs filaments de petit diamètre en parallèle. Toutefois, ce n'est pas toujours possible et l'on se heurte, de ce côté là à de grosses difficultés de montage.

Passons maintenat à la fabrication de ces cathodes :

FABRICATION DES CATHODES AU BARYUM.

Il faut :

1°) produire du baryum sur pompe ; c'est là une condition nouvelle sur laquelle nous reviendrons.

2°) produire de l'oxyde de baryum sur la cathode, en même temps que le baryum libre s'incorpore au support.

S'il n'y a pas production d'oxyde de baryum, la cathode ne dure pas' et tout le baryum qui est libre ne tarde pas à se volatiliser. Nous avons montré au chapitre précédent que sile baryum

était indispensable, l'oxygène l'était aussi. Il empêche en effet la volatilisation trop rapide du baryum superficiel.

PRODUCTION DU BARYUM.

Il ne faut pas songer à le fixer sur la cathode ou sur une partie quelconque du tube à l'état métallique avant de faire le vide, car il s'oxyderait à l'air.

Il faut le fixer dans le tube sous forme d'un composé indécomposable à l'air et pouvant donner du baryum métallique lorsque le tube est vide d'air, par simple dissociation.

De nombreuses firmes emploient de l'azothydrate de baryum $(N^3)^2 Ba$ sur la plaque, d'autres utilisent un mélange intime d'oxyde ou de bioxyde de baryum, d'aluminium et de magnésium. Ce mélange est retenu sur la plaque sous forme de pastille. Après pompage, le tube étant vide d'air, la plaque est chauffée par des courants de haute fréquence et l'aluminium et le magnésium réduisent l'oxyde de baryum. Le baryum se volatilise alors dans le tube. La pastille est constituée après cette opération par un mélange de baryum métallique, d'oxyde d'aluminium, d'oxyde de magnésium et peut être d'oxyde de baryum non réduit. Nous n'insisterons pas sur ce procédé et nous allons au contraire étudier plus en détail le procédé à l'azothydrate de baryum.

B. — AZOTHYDRATE DE BARYUM.

a) Préparation.

On trouve dans le commerce de l'azothydrate de sodium. Pour le préparer, on fait agir un courant de protoxyde d'azote à 200° sur l'amidure de sodium $N H^2 Na$.

$$N H^2 Na + N^2 0 = N^3 Na + H^2 0 —$$

Le rendement est généralement très mauvais car l'eau provenant de la réaction réagit sur l'amidure de sodium en donnant du gaz ammoniac et de la soude. Le mélange d'azothydrate de sodium et de soude ainsi obtenu est dissous dans l'eau. On acidifie par l'acide sulfurique étendu, après avoir porté la solution à l'ébullition et l'on recueille par distillation l'acide azothydrique dans la

soude pour obtenir l'azothydrate de sodium pur. C'est le produit commercial, plus maniable et moins dangereux que l'azothydrate de baryum.

Pour obtenir ce dernier, on attaque l'azothydrate de sodium par l'acide sulfurique étendu, l'on distille et l'on reçoit l'acide azothydrique N^3H dans une solution de baryte hydratée.

Il faut que le liquide contenant l'azothydrate en solution soit à l'ébullition avant de verser l'acide sulfurique étendu. L'acide azothydrique étant en effet un explosif violent ferait explosion s'il n'était pas entraîné par le vapeur d'eau provenant de l'ébullition.

C'est aussi un poison très violent et les laboratoires dans lesquels se fait sa distillaton doivent être bien aérés. Une des façons les plus simples d'empêcher son action physiologique est de le recevoir dans une solution toujours très alcaline. Si l'acide y est en excès, la solution prend une couleur jaunâtre qu'on fait disparaître immédiatement en ajoutant une base.

PURIFICATION DE L'AZOTHYDRATE DE BARYUM.

Le mélange aqueux d'azothydrate de baryum et de baryte est soumis à l'action d'un courant de gaz carbonique. Toute la baryte en excès est précipitée à l'état de carbonate de baryum. L'azothydrate seul reste en solution. On filtre. On chauffe le filtrat à l'ébullition pour précipiter le bicarbonate de baryum qui aurait pu se former et chasser le gaz carbonique en excès. Un procédé de purification consiste à précipiter alors l'azothydrate de baryum par l'alcool à 90° à le filtrer et à le dissoudre dans l'eau distillée.

Nous avons été amenés à employer une autre méthode de purification qui semble donner de meilleurs résultats. Au début, la solution d'azothydrate de baryum, de bicarbonate de baryum et de gaz carbonique est évaporée deux ou trois fois, à seccité au bain-marie. Chaque fois, les cristaux sont rapidement lavés à l'eau froide puis dissous dans l'eau. Enfin la solution est chauffée à l'ébullition à feu nu jusqu'à ce qu'il se forme une mince pellicule d'azothydrate de baryum à la surface. Après filtrage, la solution saturée d'azothydrate de baryum peut être conservée dans des flacons. Cependant la solution obtenue est jaune foncé, ce qui

dénote la présence d'une quantité importante d'acide azothydrique libre. C'est d'ailleurs assez compréhensible, l'acide azothydrique est un acide faible, mais la baryte est une base forte et l'azothydrate de baryum est un sel très hydrolysable. D'après la loi d'action de masse, les deux produits de l'hydrolyse seront l'acide azothydrique et la baryte. L'hydrolyse atteindra un pourcentage d'autant plus élevé que la température sera elle-même plus élevée. De ce fait, il ne faut pas élever la température d'une solution neutre à plus de 45 à 50° C.

Lorsqu'une solution neutre incolore à été chauffée au-dessus de cette température, elle devient jaune foncé au refroidissement. D'autre part plus on chauffe plus la solution, jusqu'à une certaine limite, contient d'acide azothydrique libre. Ce fait est facilement explicable. La baryte dissociée forme du carbonate de baryum avec le gaz carbonique de l'air et l'équilibre est rompu. Une nouvelle quantité de baryte est donc remise en liberté pour que la loi d'action de masse soit satisfaite. L'acide azothydrique est probablement un peu entraîné par la vapeur d'eau, mais ce n'est pas très sensible. La solution s'enrichira donc en acide azothydrique puisque la mise en liberté de baryte ne peut pas se faire sans décomposition d'une certaine quantité d'azothydrate en solution. Une goutte de phtaleine de phénol fait toutefois apparaître une coloration violette.

Si le procédé de purification est bon par lui-même, il faut cependant éviter la production d'acide libre par hydrolyse. La théorie précédente nous en donne le remède. Il n'y a qu'à faire les purifications en milieu alcalin. Aussi, avons-nous ajouté de la baryte en excès, mais en quantité juste nécessaire pour conserver la solution légèrement alcaline jusqu'à la fin de la purification. Les solutions d'azothydrate ainsi obtenues sont presque incolores et donnent de très beaux cristaux au refroidissement.

B. — QUELQUES PROPRIETES DE L'AZOTHYDRATE DE BARYUM. — PRECAUTIONS A PRENDRE.

L'azothydrate de baryum est un poison violent et un explosif non moins violent. Au début de sa fabrication, plusieurs accidents qui auraient pu être graves se sont produits au laboratoire. C'est ainsi que des cristaux provenant d'une solution évaporée à sec

et de ce fait portée à 80° environ ont explosé à cette température lorsqu'on a voulu, avec une spatule en nickel, les détacher de la capsule.

Il est à recommander de prendre, pour l'évacuation des eaux mères et des eaux de lavage, des éviers en forme de cône et à pente rapide.

Nous avons cru aussi constater que l'azothydrate de baryum, en ce qui concerne l'autocatalyse, ne fait pas exception à la loi générale qui régit les explosifs.

La dissociation des explosifs augmente avec l'acidité. Si la quantité d'acide atteint un taux suffisamment élevé, on peut obtenir la dissociation instantanée, d'où explosion. C'est pour cette raison que l'on dose à intervalles réguliers la diphénylamine dans les poudres de guerre.

Dans le cas de l'azothydrate de baryum, nous n'avons pas obtenu l'explosion avec une grande quantité d'acide azothydrique libre, mais nous avons constaté chez ce corps un pouvoir explosif beaucoup plus marqué lorsque les cristaux sont imprégnés d'acide azothydrique. La méthode de purification indiquée donne donc à ce point de vue des résultats intéressants.

La solubilité de l'azothydrate de baryum est la suivante :

18 Grs 5 dans 100 Grs d'eau à 20°
25 Grs 5 dans 100 Grs d'eau à 30°
30 Grs dans 100 Grs d'eau à 62°5
34 Grs dans 100 Grs d'eau à 90°

En solution, l'azothydrate de baryum n'est attaqué ni par l'air ni par le gaz carbonique. Il n'en est pas de même des cristaux secs ainsi que le prouve l'expérience suivante. Nous avions séché des cristaux d'azothydrate de baryum après y avoir ajouté une goutte de phtaleine du phénol : celle-ci prit immédiatement une coloration rose violet. Un dosage immédiat donna les résultats suivants :

Carbonate de baryum CO^3 Ba = O Gr 077 pour 10 Grs.
Baryte $Ba(OH)^2$ = 0 — —rien.

De même, dans trois flacons contenant chacun 10 Grs d'azothydrate, des dosages semblables au précédent donnèrent au bout de 17, 37 et 49 jours :

	CO^3Ba	$Ba(OH)^2$
17 jours :	0.082	0
37 jours :	0.085	0
49 jours :	0.087	traces

Le gaz carbonique attaque donc les cristaux d'azothydrate puisque la quantité de carbonate de baryum augmente avec le temps de contact avec l'air. En même temps, la coloration de la phtaléine du phénol disparaissait ce qui prouvait la mise en liberté d'acide azothydrique.

L'azothydrate de baryum en explosant donne à l'air et de l'azote et de la baryte anhydre (BaO) ; dans le vide de l'azote et du baryum.

La température d'explosion dans le vide est de l'ordre de 250° C.

C. — PREPARATION DU FILAMENT QUI SERVIRA DE CATHODE.

Le filament employé est généralement le tungstème. Il est débarrassé du carbone provenant du tréfilage par nettoyage chimique et ponçage (passage sur la poudre de pierre ponce). Il est ensuite recuit dans le vide et oxydé en présence de cuivre pulvérulent.

Par ce procédé, toutefois, la teneur en cuivre est négligeable. Un autre procédé consiste à nettoyer le filament comme précédemment ; mais au lieu de l'oxyder tout d'abord, on dépose électrolytiquement du cuivre à sa surface et on oxyde ensuite.

L'épaisseur de cette couche d'oxyde a pour l'émission une importance considérable. Plus la couche est épaisse, plus le traitement de la cathode est difficile, plus l'émission sera faible. L'épaisseur de la couche est généralement de l'ordre de quelques millièmes de millimètres. Pour obtenir pratiquement la même couche optimum d'oxyde sur les mêmes types de cathode, on utilise des courants d'électrolyse invariables et des températures d'oxydation constantes. Cette couche, d'autre part, doit être, très adhérente ; elle doit faire corps avec le support et ne présenter aucune fissure sans quoi il se formerait des points brillants provenant de l'oxyde

qui se détache du support et la température ne serait pas uniforme tout le long du filament.

Dans le premier procédé on a produit de l'oxyde de tungstène et une minime quantité d'oxyde de cuivre ; dans le deuxième, il n'a été formé que de l'oxyde de cuivre.

D. — POMPAGE DU TUBE.

Il n'y a pas de précautions très particulières à prendre pour les autres parties du tube : conducteurs, plaque, grille, etc... Lorsque la plaque et la grille sont assemblées, on pose le filament que nous venons de préparer. C'est alors qu'on répand sur la plaque une solution d'azothydrate de baryum pur. La quantité à verser est de Occl environ pour les lampes à surface d'électrode faible, R. 7.5 par exemple. Nous insistons sur le fait que la solution d'azothydrate doit être posée sur la plaque, sur sa face interne et non sur le filament. Le pied monté est alors séché dans une étuve à la plus basse température possible pour évaporer l'eau de la solution d'azothydrate de baryum que nous avons répandue sur la plaque. Après séchage, le pied est fermé dans une ampoule. Le contact avec l'atmosphère ne se fait plus désormais que par le queusot. Le tube est mis sur pompe et étuvé. L'étuvage de ce tube a deux buts :

1° Chasser les gaz accrochés au verre ou occlus dans celui-ci.

2° Décomposer l'azothydrate de baryum en azote qui est absorbé par les pompes à vide et en baryum qui reste sur la plaque.

Cette décomposition commence aux environs de 250°.

La décomposition de l'azothydrate demande beaucoup d'attention ; elle doit être lente car un chauffage trop brusque provoquerait l'explosion.

On arrive à ce résultat en réglant convenablement la température de l'étuve. Dans les machines à pomper automatiques, l'étuve est généralement fixe, disposée en arc de cercle. Elle est composée de plusieurs tronçons juxtaposés que l'on peut porter à différentes températures, soit par chauffage électrique, soit par chauffage au gaz. La machine à pomper est tournante, les orifices des pompes à vide ou l'on doit mettre les queusots sont centrés au milieu de l'étuve. La lampe peut donc faire un tour complet en passant dans l'étuve.

Pour que l'explosion de l'azothydrate de baryum ne se produise pas, il faut régler l'étuve de telle façon que la lampe arrive graduellement et sans à coup à la température à laquelle la **décomposition** commence. Il faut garder cette température un certain temps puis pousser à 400° rapidement. Mais le dégagement d'azote doit avoir cessé avant que la lampe arrive à cette température. On suit ce dégagement dans le « voyant » qui n'est autre chose qu'un tube de Gessler. S'il y a eu explosion de l'azothydrate, la lampe est totalement noire, le baryum ayant été projeté sur le verre. Si elle est rougeâtre, il y a eu explosion mais en outre le baryum a été trop chauffé en présence d'azote et a formé un azoture de baryum.

A la sortie de l'étuve, le queusot de la lampe est scellé au chalumeau à main et la lampe est culottée. Il reste à la « traiter ».

E. — TRAITEMENT DE LA CATHODE POUR QU'ELLE EMETTE.

Au début, nous avons d'abord traité les lampes à la main, une à une, puis, lorsque la méthode de traitement a été au point, une machine automatique a été construite.

Cette machine à plateau tournant nous a permis d'obtenir de 250 à 350 lampes à l'heure. A la périphérie de ce plateau, à intervalles égaux, nous avions disposé des supports de lampes. Ces supports étaient connectés à des lames de laiton faisant ressort et frottant sur les plots d'un plateau fixe disposé en dessous du plateau tournant.

Le plateau, en tournant, faisait faire à la lampe un tour complet et l'amenait successivement sous les fours à haute fréquence, dans la zône de refroidissement des électrodes, dans la zône de formation de la cathode et dans la zône de mesure de saturation de la cathode.

Après culottage, avant traitement sous les fours à haute fréquence, la surface de la future cathode est recouverte comme on l'a vu, soit d'oxyde de tungstène, soit d'oxyde de cuivre. Le baryum est sur l'anode. Or il s'agit d'obtenir sur la cathode de l'oxyde de baryum et un alliage à base de baryum.

Le baryum volatilisé de l'anode par le chauffage à haute fréquence réduira l'oxyde de tungstène ou de cuivre et libèrera

le métal. Si, par exemple, nous avons sur le filament de l'oxyde de cuivre, la réaction suivante se fera :

$$Cu\ 0 + Ba = Ba\ 0 + Cu$$

Et le cuivre libéré formera un alliage avec le baryum en excès.

Dans le cas de l'oxyde de tungstène, le baryum formera de l'oxyde de baryum et mettra en liberté du tungstène. Cependant, la température à laquelle doit être porté un tel filament pour être réduit par le baryum est un peu plus élevée que lorsque le filament est recouvert d'oxyde de cuivre. Il semble aussi que l'oxyde de cuivre favorise par la suite l'émission de la cathode. Cette plus grande activité de la cathode semble due à la facilité avec laquelle le baryum s'allie avec le cuivre et à la grande fusibilité de cet alliage.

L'alliage cuivre-baryum est en effet beaucoup plus fusible que l'alliage tungstène-baryum ; il se répand donc mieux à la surface du filament et donne une émission plus régulière. Rappelons en effet que l'émission, dans ce genre de cathode, dépend essentiellement de la surface active. Pour améliorer dans ce sens les cathodes à base d'oxyde de tungstène, nous avons créé pendant la volatilisation du baryum un champ entre l'anode et la cathode réunie à la grille, l'anode étant positive et la cathode négative. Cette cathode attirait donc les ions Ba+ puisqu'elle était négative. Cette méthode nous a donné de très bons résultats, démontrant ainsi l'importance de la surface active.

Dans ce traitement, les gaz dégagés par les électrodes, le verre et les parties métalliques sont absorbés par du magnésium qui, au montage de la lampe, a été soudé sur la surface extérieure de la plaque et par le baryum qui s'y trouve en grand excès. Il faut chercher à volatiliser d'abord le magnésium, ensuite le baryum. On y arrive en réglant convenablement les fours à haute fréquence. Le magnésium et le baryum viennent alors tous les deux se condenser sur les parties froides du tube.

La présence de baryum sur la partie interne de la plaque donnera à cette dernière un pouvoir émissif considérable. Ce pouvoir est utilisé pour le bombardement de la grille en amenant la plaque par chauffage en haute fréquence à 1.000 ou 1.100°C, et en rendant la grille positive par rapport à la plaque. La grille

chauffe en effet très peu en haute fréquence et il est indispensable de la bombarder. Si l'on veut bombarder dans la même opération la plaque et la grille, on appliquera une tension alternative de 500 volts entre elles. L'émission étant considérable, on intercalera une résistance dans le circuit.

Certains expérimentateurs forment l'oxyde de baryum et l'alliage sur le filament, en même temps qu'ils effectuent le bombardement de la grille. Cette méthode rejette automatiquement la possibilité d'attirer les ions positifs sur le filament. Pour notre part, nous préférons former d'abord l'oxyde de baryum et l'alliage de baryum, puis n'effectuer qu'ensuite le bombardement de la grille.

Ceci fait, le filament doit encore subir un «traitement» spécial, en vue de son émission.

Mais le traitement de cette cathode qui est aussi, nous le démontrerons, une cathode à diffusion est beaucoup moins difficile que le traitement d'une cathode thoriée. On peut interpréter ce fait par la plus grande mobilité des atomes de baryum qui sont beaucoup moins lourds que les atomes de thorium.

Il suffit de porter le filament à 1.500° K environ pendant quelques minutes. Pendant cette opération certains portent la grille et la plaque réunies à une tension de l'ordre de 30 volts. On laisse ensuite les lampes pendant une heure ou une heure et demie sous leur régime de fonctionnement normal. On n'a plus qu'à les mesurer et on les livre ensuite à la consommation.

F. EFFETS DU TRAITEMENT.

Avant de passer sous les fours à haute fréquence, le filament comporte sur un support, généralement en tungstène, une couche d'oxyde métallique réductible par le baryum.

Voir schéma page 108

Pendant le montage, le filament a pu être taché par les doigts; aussi, pour faciliter la réduction de l'oxyde, doit-on recommander de le chauffer avant de faire passer la lampe sous les fours à haute fréquence. Cette opération doit s'effectuer à la plus haute température possible sans toutefois que la couche d'oxyde soit volatilisée. On a ainsi en même temps l'avantage de «dégazer» le filament.

1) support,
2) couche d'oxyde métallique.

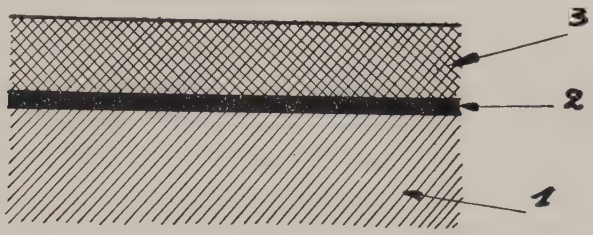
Voir photographie N°5 : filament de tungstène nettoyé.
Voir photographie N°6 : filament de tungstène oxydé.

Le filament étant alors porté à 1400° ou 1500° K, on chauffe tout d'abord assez doucement la plaque pour volatiliser en premier lieu le magnésium. Celui-ci, en se volatilisant, absorbe déjà une grande partie des gaz qui pourraient nuire à l'action réductrice du baryum sur le filament. On chauffe ensuite plus sévèrement la plaque mais toujours progressivement pour volatiliser le baryum contenu sur sa surface interne. Si l'on opérait brutalement, le baryum libéré irait tout de suite se déposer sur le verre Or, si l'on veut que le filament soit complètement formé, il faut que l'espace filament-plaque soit entièrement rempli de vapeur de baryum, en soit saturé. Et ce n'est qu'au fur et à mesure que la température de la plaque s'élève que cette vapeur verdâtre vient se condenser sur le verre en lui donnant une teinte noirâtre La nécessité de saturer l'espace filament plaque de vapeur de baryum empêche de construire avec ce genre de cathode des tubes ayant une plaque de grand diamètre et de faible longueur. En effet, dans ce cas, dès que la plaque est chauffée, le baryum volatilisé va se condenser sur les parties les plus froides du tube Le filament est alors incomplètement formé, sa surface active est faible ; son émission et sa durée aussi.

Enfin la plaque est chauffée plus fortement au moment du bombardement de la grille.

Lorsque le tube a été chauffé sous les fours à haute fréquence on constate une augmentation de la consommation du filament C'est que la couche d'oxyde de cuivre ou d'oxyde de tungstène que nous avons précédemment formée, n'est pas conductrice et

que le baryum en réduisant cette couche a formé de l'oxyde de baryum qui n'est évidemment pas conducteur non plus mais qui est englobé dans un alliage à base de baryum et qui est,lui conducteur. Le filament étant chauffé sous tension constante, le courant devient plus fort. Le système est alors ainsi constitué :



1) tungstène
2) alliage de baryum
3) mélange homogène d'alliage de baryum et d'oxyde de baryum.

La continuité entre les différentes couches est ici nettement plus accusée que dans la lampe à oxydes rapportés. Le lien pour ainsi dire, est l'alliage (2) à base de baryum. Comme le baryum est en excès, cet alliage pourra, en présence de cuivre, être constitué par du cuivre, du tungstène et du baryum. S'il n'y a pas de cuivre, il sera composé de baryum-tungstène. Cette couche (2) n'est pas, à proprement parler, une couche car nous verrons plus loin qu'il est avantageux que l'alliage métallique s'avance le plus profondément possible à l'intérieur du support.

Mais lorsque la lampe est sortie des fours à haute fréquence, elle n'est pas encore apte à émettre et nous avons vu que le traitement qu'elle devait subir consistait à porter le filament pendant quelques minutes à 1500° environ, d'ou survoltage du filament puisque sa température de fonctionnement est de 1000° environ. Le filament qui doit fonctionner sous 4v est porté dans cette opération entre 5v 5 et 6v.

Si le filament n'a pas été survolté, son émission n'est pas stable. Examinons donc ce qui se passe dans cette opération :

Ce survoltage ne doit pas durer plus de 3 à 4 minutes. Son but est de volatiliser la plus grande partie du baryum fixé à la surface de la couche (3), mais il faut bien se garder de volatili-

ser tout le baryum et plus particulièrement celui de la couche (2) qui servira si utilement par la suite. C'est ainsi que, survoltée à cette température pendant une demi-heure par exemple ; l'émission d'une cathode baisse considérablement. On peut même arriver à épuiser totalement une cathode. Le temps de traitement sera d'autant plus réduit que le survoltage sera élevé, car une élévation de température active en effet la formation de la cathode.

D'ailleurs cette élévation de température a une limite : c'est la volatilisation totale de la couche active. Le tungstène alors dénudé prend un aspect blanc métallique. Généralement la volatilisation ne se produit pas sur toute la longueur du filament. La partie dénudée n'émet pas ; elle paraît plus brillante et elle est, de fait, à une température supérieure à celle de la partie recouverte qui seule continue à émettre. Naturellement, la saturation, la consommation du filament et les caractéristiques du tube ne sont plus ce qu'elles étaient primitivement. Dans ce cas la lampe est à rejeter. Pour reconnaître s'il y a volatilisation partielle de la couche active, l'œil est suffisant, il note très bien les différences d'éclat superficiel.

Le survoltage n'est pas la seule cause influant sur la volatilisation de la couche active. Sans entrer dans les détails, il faut signaler aussi :

1°— Un mauvais nettoyage possible du filament (il peut rester du carbone).

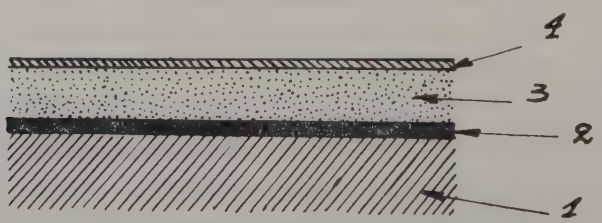
2°— Une détérioration de la couche d'oxyde qui a été «raclée» au moment du montage du filament.

3°— Un mauvais réglage des fours à haute fréquence.

4°— Un mauvais vide.

C'est dire qu'un contrôle rigoureux de la fabrication est nécessaire et permettra seul de situer le défaut (1).

Lorsque le traitement est terminé, la cathode se présente schématiquement comme suit :



(1) **Remarque.**— Pendant cette formation de la cathode des gaz peuvent se dégager, mais le baryum volatilisé joue alors le rôle de getter.

1) Support
2) Alliage à base de baryum
3) oxyde de baryum
atomes de baryum
4) baryum monoatomique.

Voir photographie N°7

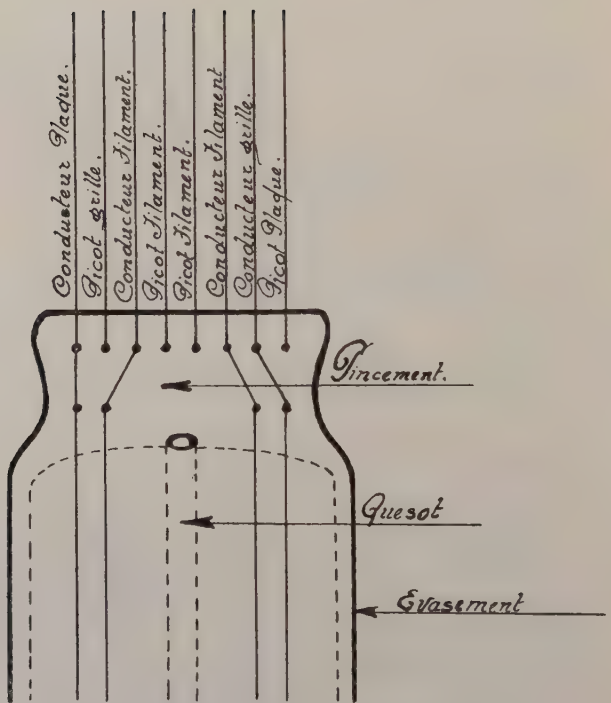
Il arrive parfois après traitement qu'il existe un courant de conduction entre le filament et la grille ou entre la grille et la plaque. Ce courant, nuisible au bon fonctionnement du tube, est dû à du baryum qui a été volatilisé entre les conducteurs (fi.24) ou à de la poudre de baryum qui a pu s'y glisser. Pour le déceler, on relie par exemple l'un des pôles d'une batterie de 120 V au filament, l'autre pôle à la grille et à la plaque. Un galvanomètre intercalé dans le circuit ne doit pas dévier quand la cathode est froide.

Nous pensions au début qu'un tel essai suffirait, mais plus tard, nous découvrîmes que ce courant qui peut atteindre plusieurs dizaines de microampères pouvait ne pas exister tout d'abord et ne prendre naissance que sous l'action d'un champ de haute fréquence. Les mesures de conduction ne furent plus désormais faites qu'après fonctionnement d'une bobine de RUMKORFF à proximité de la lampe. Et il arrivait alors en effet qu'une lampe qui, en mesure statique ne donnait pas de courant de conduction, en donnât une fois soumise à l'action du champ de haute fréquence. Le courant, dans ces conditions, peut apparaître plusieurs secondes seulement après la création du champ de haute fréquence ; il doit se passer là une action analogue à celle qui se passe dans le cohéreur de Branly.

Pour éviter ce courant de conduction, on badigeonne le «pincement» avec un composé non conducteur, du carbonate de baryum par exemple, et l'on fait éclater entre les conducteurs une étincelle provenant d'une bobine de RUMKORFF. La chaine d'atomes de baryum donnant lieu à la conduction est alors rompue par échauffement et le courant n'est plus à craindre, le carbonate empêchant la cohération de se reproduire.

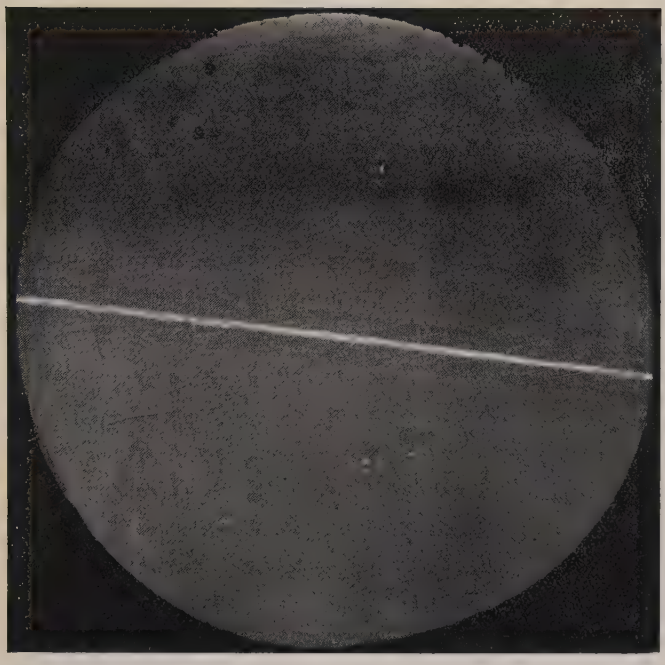
Nous avons ainsi obtenu de bons résultats en badigeonnant le pincement avec du bioxyde de baryum/ (BaO^2) finement pulvérisé. Au pompage, il est en grande partie décomposé en oxyde BaO et en oxygène qui est entrainé vers la pompe. Toute-

Fig. n° 24.



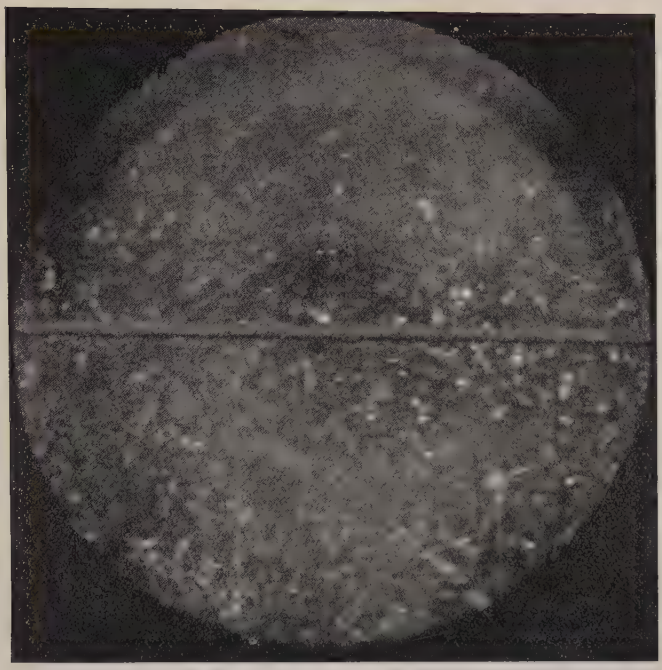
Type de pied pour filament en N

Exemple : R. 75



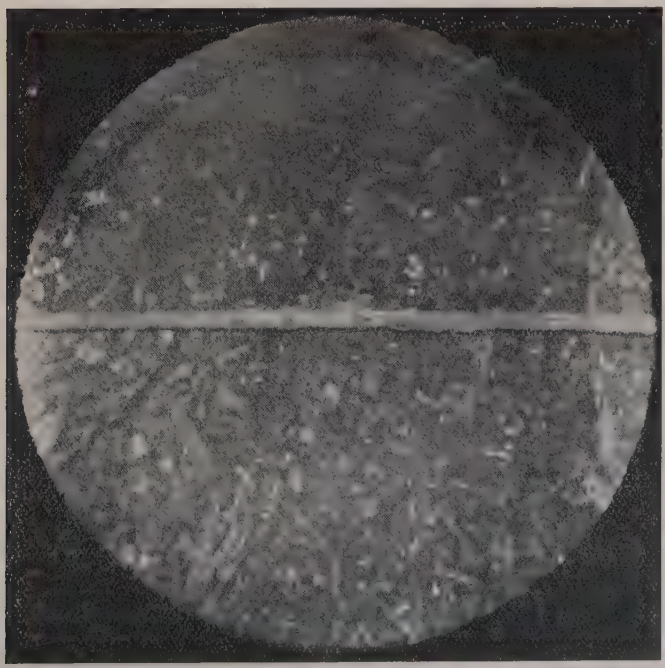
N° 5. Filament de tungstène 21 °/oo nettoyé.

N° 6, Filament de tungstène 21 °/oo oxydé.



No 7. Filament de tungstène 21 °/oo

Photographié tout de suite après avoir été retiré d'une lampe dans laquelle tout le traitement avait été fait. Ce filament était susceptible d'émettre au moment où la lampe a été cassée ; il contient donc du baryum et de l'oxyde de baryum.



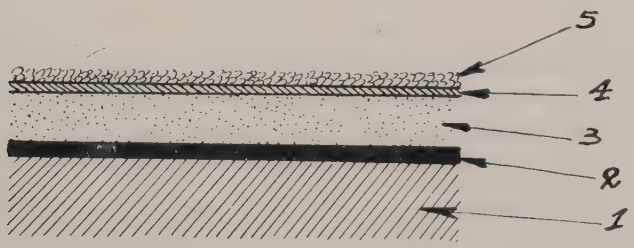
No 8. Filament exposé à l'air.

fois, il reste encore des traces d'oxygène qui se combineront au baryum. Pour plus de sûreté, on fera éclater entre les conducteurs, comme précédemment, une étincelle provenant d'une bobine de RUMKORFF.

G. PROCESSUS D'EMISSION.

Lorsque la cathode est chaude nous avons :

1 1° Le support
2 2° L'alliage à base de baryum
3 3° La couche d'oxyde de baryum avec des atomes de baryum
4 4° La couche monoatomique d'atomes positifs de baryum
5 5° L'atmosphère électronique.



Comme dans la cathode à oxydes rapportés, la couche (4) est en équilibre avec l'atmosphère électronique. C'est du reste un principe général dans toutes les cathodes.

En fonctionnement, les atomes de baryum contenus dans la couche (2) diffusent à travers l'oxyde de baryum pour fournir les électrons de la couche (4) au fur et à mesure de ses besoins.

La couche (4) reste en équilibre constant avec les atomes qui diffusent. Les atomes vaporisés superficiellement sont remplacés par ceux qui viennent de l'intérieur.

Ici encore, l'émission est donc liée à la diffusion. Pour que le courant d'anode soit constant il faut que le nombre d'atomes de baryum qui arrivent à la surface par diffusion reste le même. Nous retrouvons ici le même problème que précédemment.

Toutefois, ces cathodes présentent une différence avec les cathodes à oxydes rapportés. La couche d'oxyde dans les cathodes à oxydes avait pour but :

1°— de fournir le baryum nécessaire à l'émission ;

2°— de fournir l'oxygène nécessaire à la combinaison avec des atomes de baryum ;

3°— de freiner la diffusion du baryum ;

4°— d'absorber les atomes de baryum à sa surface pour les retenir et empêcher une volatilisation trop rapide.

Dans les cathodes à baryum, la couche d'oxyde n'a plus que les trois derniers buts à remplir car étant très mince, elle n'apporte plus qu'une quantité relativement faible d'atomes de baryum vis à vis de tous ceux qui sont contenus dans la cathode et qui proviennent presque en totalité de l'alliage à base de baryum. Il y a d'ailleurs réellement saturation. Et on peut obtenir cette saturation sans risque d'avoir un fort dégagement gazeux comme avec certaines cathodes à oxydes rapportés.

Du reste, si la cathode ne contenait comme source de baryum que cette faible couche d'oxyde de baryum, elle ne durerait pas très longtemps. Pour augmenter cette durée, au lieu d'un revêtement du support par un alliage à base de baryum on pourrait d'après BEESE prendre un noyau de composition Ni-Ba.

Dans l'examen du processus d'émission d'une telle cathode au baryum, nous avons donc dégagé, non seulement le rôle du baryum en excès lorsqu'il agit comme «getter», mais encore le rôle de ce même baryum indispensable à l'émission. C'est au moins la première raison qui guide les tendances actuelles ; obtenir, sous vide, le plus de baryum possible en excès sur la cathode. Différents brevets ont été pris ces dernières années. Les uns volatilisent un réducteur sur le support, y projettent l'oxyde et chauffent sous vide. D'autres enfin font éclater un arc dans l'hydrogène, espérant réduire ainsi l'oxyde de baryum. Quels que soient du reste les procédés, ce ne sont que des variantes donnant des résultats industriels plus ou moins bons et plus ou moins faciles à appliquer, mais tous convergent vers un but unique : obtenir du baryum métallique libre.

PREUVES DE LA DIFFUSION DU BARYUM

Tout, théoriquement, semble prouver la diffusion du baryum. Essayons de montrer pratiquement son existence. Nous savons qu'une cathode en tungstène peut débiter, même en saturation,

sans que pour cela son émission tombe ; nous savons aussi que le thorium ne peut pas remplir cette condition. Comment se comporte donc la cathode au baryum ?

Le problème est ici très délicat. Nous ne pouvons pas mettre longtemps une lampe en saturation, car, étant donné la grosse émission du filament,, la grille dégagerait des gaz sous l'action du bombardement électronique intense.

Prenons toutefois, une grille bien purgée de gaz et essayons de voir ce qui se passe. Après avoir ramené la cathode à sa température normale, portons la plaque et la grille à un potentiel progressivement croissant. Le courant, sous chauffage constant de la cathode, augmentera graduellement, et à partir de 40 v. restera pratiquement constant quelle que soit la tension appliquée. Si, toutefois, le voltage devient trop élevé, la cathode ne tiendra la saturation que quelques secondes et le courant tombera ensuite petit à petit. Mais si à ce moment nous diminuons la tension, sans laisser aux électrodes le temps de se refroidir et d'absorber les gaz, le courant remonte. Et c'est à très faible tension que la « reformation » de la cathode sera le plus rapide.

Il en est ainsi à toutes les températures de la cathode, mais la chute de la saturation commence à se produire à des voltages d'autant plus hauts que ces températures sont plus élevées.

Ces constatations nous amènent à penser qu'il existe comme pour le filament thorié, deux sortes d'évaporation :

1° — l'évaporation proprement dite provoquée par la température ;

2° — L'évaporation par émission ou par entraînement.

Et il faut admettre en outre, que le baryum est entrainé d'autant plus que les électrons vont plus vite.

Il est possible aussi, étant donné le champ intense qui agit sur le filament, que le baryum émette thermioniquement sur le support même ; les électrons, en se répandant dans le tube, entraineraient du baryum avec eux après avoir passé à travers l'alliage et la couche d'oxyde.

Il existe aussi pour la cathode au baryum une plage de température optima ; toutefois, elle est assez difficile à limiter car le baryum diffuse très bien et on ne demande en régime normal, à une telle cathode, qu'une émission 5 à 10 fois moins grande que sa saturation.

a) **Influence de la température.**

Néanmoins, nous avons pu, en baissant fortement la température sur des lampes basse fréquence R-80, mettre en lumière la chute de l'émission causée par un manque de diffusion. La cathode était à 800° ou 900° K. Voici, dans le tableau n° 8 suivant, les résultats de trois séries d'essais :

1re SÉRIE			2me SÉRIE			3e SÉRIE		
Durée heures	Débit électroniq. des lampes mmamp.		Durée heures	Débit électroniq. des lampes mmamp.		Durée heures	Débit électroniq. des lampes mmamp.	
	1re lampe	2e lampe		1re lampe	2e lampe		1re lampe	2e lampe
Chauffage faible			Chauffage faible			Chauffage faible		
0	100	100	0	75	75	0	90	90
12	35	80	36	10	18	36	20	38
60	25	60	84	10	13	84	16	32
108	21	0,5						
156	13	0,4						
Chauffage normal			Chauffage normal			Chauffage normal		
204	74	85	132	46	55	132	76	62
324	80		204	57	78	204	95	78
468	88		396	62	90	300	89	82

En durée, la tension de plaque était dans tous les cas invariablement la même ; 80 volts.

Pour les mesures aux heures indiquées, la saturation était prise sous une tension de 30V plaque et grille réunies (débit électronique).

D'après ce tableau, on se rend compte du rôle essentiel de la température du filament. Quelques uns des résultats obtenus sont peut-être encore mieux mis en évidence par les courbes de la figure 25, ci-après.

b) **Influence du débit.**

De même, une émission trop forte, même de faible durée, peut avoir une influence énorme sur le débit électronique du filament.

Des bigrilles, des R-83, ont été également mises en essai de durée : le débit était de 15 milliampères environ. A 96 heures,

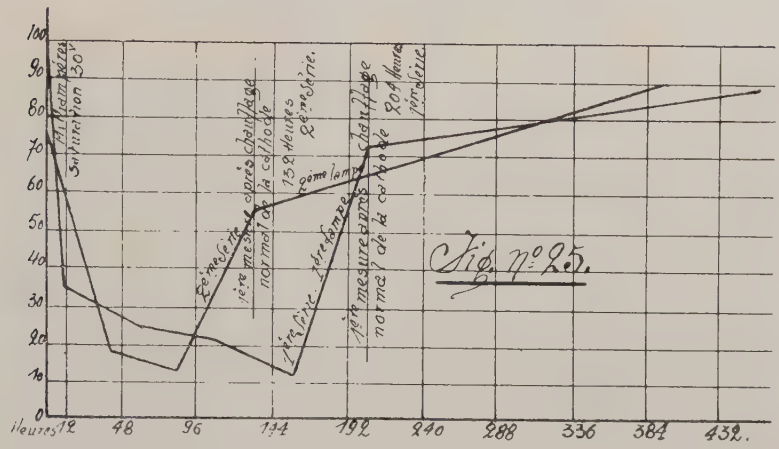


Fig. n° 25.

leur saturation ayant baissé, on ne leur fit plus débiter que le courant normal, soit 4 à 5 milliampères. Le courant de saturation obtenu en fonction du temps est donné par le tableau n° 9.

La figure 26 traduit les résultats pour quelques lampes. L'interprétation ne fait aucun doute. Les lampes, dans la période de débit trop fort, ont des saturations qui tombent avec le temps ; c'est que la vitesse de diffusion des atomes de baryum vers la surface de la cathode est plus faible que la vitesse d'évaporation de ces mêmes atomes à la surface de la cathode.

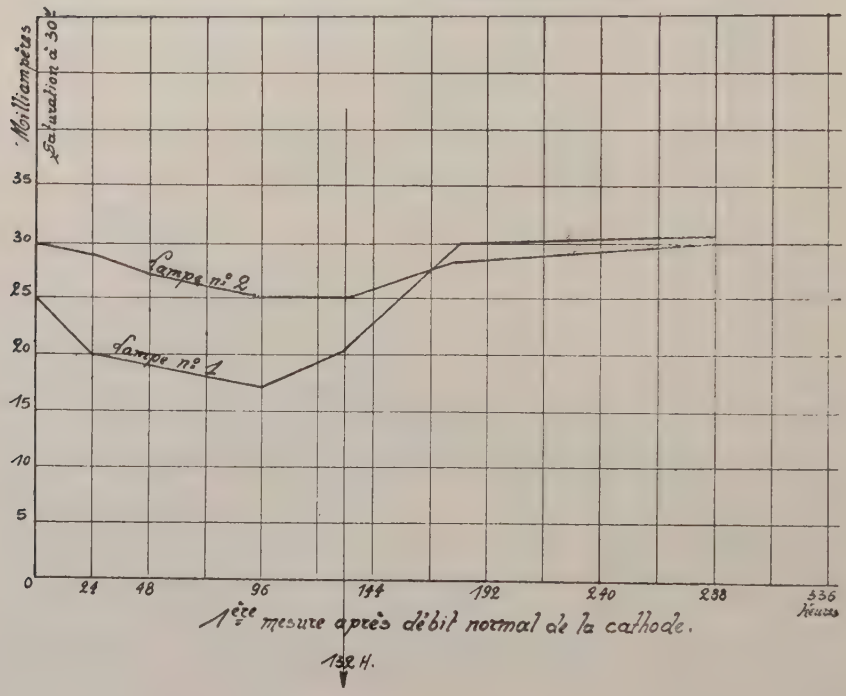
Dès que cette vitesse d'évaporation ou d'épuisement diminue fortement, la saturation remonte et, au bout d'un certain nombre

Tableau N° 9.

Durée en heures	Débit électronique des lampes en milliampères			
	lampe n° 1 courant de saturation en mm amp.	lampe n° 2 courant de saturation en mm amp.	lampe n° 3 courant de saturation en mm amp.	lampe n° 4 courant de saturation en mm amp.
Débit trop fort : 15 milliampères en essai de durée.				
0	25	39	28	26
24	20	29	29	25
48	19	27	27	23
96	17	25	26	20
Débit normal : 4 à 5 milliampères en essai de durée.				
132	21	25	28	25
180	30	30	32	28
300	31	30	34	30

Pour les mesures aux heures indiquées la saturation était prise sous une tension de 30V, plaque et grilles réunies.

Fig. N° 26.



d'heures, on revient à la saturation maxima de la cathode.

Nous avons vu qu'une température un peu trop forte diminuait la durée de la cathode, mais cependant, celle-ci est suffisante en pratique, parce que le baryum qui est sous la couche d'oxyde est en assez grande quantité.

Et même, pour faciliter la diffusion des atomes très nombreux de ce baryum, nous avons constaté que pour les lampes de puissance à fort débit (R. 77 — R. 80), il était souvent avantageux de pousser un peu plus la température de la cathode que pour les autres lampes à faible débit (R. 75 — R. 78 etc.). Une température trop faible est donc finalement plus préjudiciable qu'une température un peu trop forte, car la diffusion des atomes de baryum est alors nettement trop faible pour le débit permanent demandé.

MISE EN EVIDENCE DU BARYUM.

Lorsqu'une cathode à baryum est à sa température normale d'émission, elle peut durer plusieurs milliers d'heures si le débit anodique pour lequel elle a été calculée est respecté. C'est qu'elle contient des atomes de baryum en grande quantité et que l'on peut mettre en évidence. Si nous cassons une lampe et que nous regardions immédiatement la cathode, nous constatons qu'elle est noirâtre (photographie n° 7). Au bout d'un certain temps, elle commence à prendre une couleur grisâtre ; enfin, après quelques heures d'exposition à l'air, elle est devenue blanchâtre. C'est que de l'oxyde de baryum s'est formé : on peut le gratter en passant le doigt sur le filament. Ce phénomène est surtout apparent sur les cathodes ayant peu duré. Celles qui sont épuisées ne le présentent pas aussi net et aussi visible.

Voici une vue micrographique (Photographie n° 8), à rapprocher des vues micrographiques 5, 6 et 7 qui ont été prises sur le même filament à différentes phases de la fabrication.

H. — ACTION DES GAZ.

Tout comme sur le thorium dans le filament thorié, les gaz ont une action très vive sur le baryum.

Cependant la vapeur d'eau et les gaz dégagés par le verre sont moins à craindre que dans tout autre tube. L'azote, en effet, provenant de la composition de l'azothydrate de baryum effectue un lavage du verre pendant l'étuvage.

D'autres part, lorsque nous avons de l'azote dans une lampe, la formation de la cathode se fait normalement pendant le survoltage, mais dès que nous arrivons à la température normale de fonctionnement, la saturation tombe petit à petit.

C'est que l'azote, comme nous l'avons signalé, forme de l'azoture de baryum rougeâtre. A la température de formation de la cathode (1500 K°) l'azoture de baryum est bien décomposé totalement. Mais à la température de fonctionnement normal (1000°) la pression de dissociation de l'azote dans l'azoture de baryum étant bien plus faible, l'azote se recombine au baryum. Il forme de l'azoture à la surface du filament et abaisse de ce fait la surface active, donc l'émission. L'émission de la cathode tend

alors vers l'émission de l'azoture de baryum qui est très inférieure à celle du baryum.

Or cet azote ne doit sa présence dans le tube qu'à un mauvais pompage. Les précautions à prendre pendant le pompage sont donc les suivantes :

1° — Ne pas chauffer à l'étuvage le baryum à trop haute température en présence d'azote ;

2°— veiller à ce que le «voyant» soit bien calé, c'est-à-dire à ce que tout l'azote provenant de la décomposition de l'azothydrate de baryum soit absorbé par les pompes lorsque la lampe arrive en maximun d'étuvage (400°). Si tout l'azote n'est pas absorbé, les électrodes en se refroidissant, absorberont cet azote, pour le remettre en liberté lorsqu'on chauffera la plaque par haute fréquence.

Enfin, lorsque nous avons étudié les cathodes à oxydes rapportés, nous avons signalé que l'oxygène à une pression de 10^{-3} mm (de Hg) empêchait toute émission. Dans la cathode à baryum, les choses vont moins loin, car il faudrait que tout le baryum libre puisse se combiner, et il y en a beaucoup plus.

CHAPITRE VI

Cathodes à Chauffage indirect

Lemploi du courant alternatif pour le chauffage de la cathode a fait suivre aux constructeurs de lampes, deux voies distinctes.

1°)—CATHODES CHAUFFEES DIRECTEMENT PAR LE COURANT ALTERNATIF.

La cathode était constituée par un filament gros et court. Ce filament en fonctionnement ne présentait qu'une faible surface chaude. Il fonctionnait sous une tension alternative de 0 v 6. Entre les deux bornes du filament on mettait un potentiomètre avec point milieu, qui servait de point commun. On atténuait ainsi les ronflements. Cependant, les résultats obtenus étaient loin d'être parfaits. En plus de cela, la construction de ces tubes était délicate.

2°)— CATHODES CHAUFFEES INDIRECTEMENT PAR LE COURANT ALTERNATIF.

Le procédé précédent par chauffage direct de la cathode a donc été de plus en plus délaissé au profit de celui par chauffage indirect.

Dans ce procédé, on utilise la propriété des filaments de tungstène de pouvoir être portés à haute température, et celle des cathodes à oxyde d'avoir une forte émission à basse température.

En conséquence, un filament de tungstène enrobé dans un tube de quartz, d'isolantite, etc.. est porté à l'incandescence par le passage d'un courant alternatif. Il échauffe ainsi un tube de nickel qui l'englobe lui et son enrobage. Sur la partie supérieure du tube de nickel, on a auparavant fixé des oxydes alcalino-ter-

reux, les mêmes que ceux qui ont servi à fabriquer les filaments à oxydes rapportés. Par différents essais on arrive vite à concilier et la durée du filament de tungstène et la température de la cathode.

Le culot doit évidemment avoir une borne de plus qui sera réunie à la cathode. Elle servira de point commun. A remarquer que la cathode entière est rigoureusement au même potentiel.

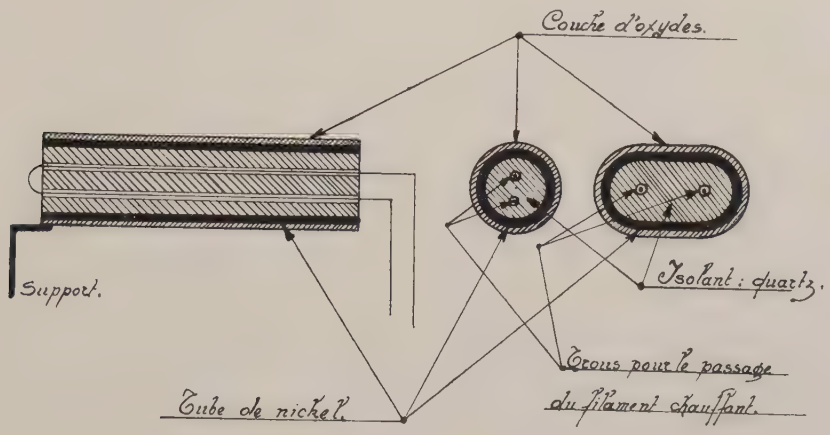
Le processus d'émission est le même que dans les cathodes à oxydes rapportés. La fabrication n'en est pas plus commode, car on ne peut pas chauffer la cathode à une température aussi élevée que la cathode ordinaire. Néammoins, la température que l'on peut atteindre est généralement suffisante pour décomposer le carbonate de baryum. On doit porter toute son attention sur la pureté du nickel. Le manganèse, par exemple, nous l'avons déjà expliqué, empêche l'émission des lampes à oxydes. On ne doit donc en tolérer que des quantités infimes justement parce qu'on ne peut pas chauffer beaucoup sur pompe.

Le filament de tungstène qui sert de source de chaleur se brise souvent à la suite d'allumages répétés. Il faut tâcher de ne pas le froisser pendant le montage. Aussi peut-il être avantageux de constituer l'enrobage du filament par un cylindre soit de quartz soit de tout autre isolant, percé de trous d'un diamètre beaucoup plus fort que le diamètre du filament, de façon à permettre sa dilatation.

Enfin pour que le courant alternatif passant dans le filament chauffant n'amène pas de pertubations dans le fonctionnement de la lampe, il est nécessaire de mesurer l'isolement entre ce filament et la cathode constituée par le tube de nickel recouvert d'oxyde. On mesure donc cet isolement en mettant un pôle d'une batterie de voltage connu à une borne filament, et l'autre pôle à la borne cathode. Il faut pratiquement que cet isolement ne soit pas inférieur à un mégohm. Les cathodes présentant une conductibilité plus forte sont celles dont le tube isolant en quartz est en partie recouvert d'un film de baryum.

Pour éviter encore des perturbations dans le fonctionnement de la lampe, le filament est replié sur lui-même. Ainsi doublé, il n'a pas de coefficient de self induction sensible et son champ extérieur est pratiquement annulé.

Voici la coupe d'une cathode à chauffage indirect :



CHAPITRE VII

Autres Cathodes

On sait que les éléments alcalins, sodium, potassium, cœsium, émettent encore beaucoup plus que tous les éléments précédemment envisagés. Les chercheurs poursuivent leurs recherches sur l'emploi de celui qui émet le plus : le cœsium.

Jusqu'à présent, il n'a pas été possible de mettre au point une telle cathode pouvant se fabriquer industriellement. C'est que le problème se complique du fait que les métaux alcalins sont très volatils aux basses températures. Il semble toutefois que malgré la forte émission qui en résulterait, la mise au point d'une telle cathode ne présente pas un gros intérêt industriel. L'emploi des lampes à chauffage indirect et des postes sur secteur s'est généralisé à tel point que l'on ne fabrique presque plus aujourd'hui de postes fonctionnant sur accumulateurs. Ceci n'oriente pas les laboratoires industriels vers la recherche d'une cathode qui émette davantage. En effet, l'émission obtenue avec les oxydes rapportés sur une cathode à chauffage indirect, par suite de sa grande surface, est largement suffisante. D'autre part, le procédé par oxydes rapportés est excellent pour éviter la conduction entre la cathode et le filament chauffant ou tout autre procédé quiobligerait la volatilisation d'un métal sur la cathode.

Des brevets ont été pris cependant en assez grand nombre. Il semble acquis que comme le baryum, le cœsium seul se volatilise rapidement, la cathode dure donc peu. Il faut alors retenir ce cœsium sur une couche d'oxyde. L'oxyde de tungstène a été proposé. Des quelques travaux que nous avons pu effectuer au laboratoire, nous avons la conviction que la voie à suivre pour ce genre de cathode est exactement la même que pour la cathode au baryum.

Conclusion

CONCLUSION.

L'industrie a vu naître plusieurs cathodes :

1°) celles au tungstène,

2°) celles au tungstène thorié qui émettent davantage,

3°) celles aux oxydes rapportés qui émettent encore plus,

4°) celles au baryum enfin qui donnent l'émission la plus forte et la plus régulière.

Aujourd'hui, par suite de l'emploi presque exclusif des postes sur secteur, on a remplacé les cathodes à chauffage direct par des cathodes à chauffage indirect.

Les cathodes à oxydes rapportés sont seules employées dans les lampes à chauffage indirect car l'emploi du baryum donnerait lieu à des émissions secondaires et, en outre, l'insolement entre le filament chauffant et la cathode serait insuffisant.

Les phénomènes sont difficiles à saisir en eux-mêmes. Aussi, sans nous contenter de l'étude du fonctionnement normal, nous avons cherché toutes les anomalies qui pouvaient se présenter dans la fabrication des cathodes. Nous avons ainsi formé un tout qui, pour chaque cathode, nous a conduit à admettre tel ou tel mode de fonctionnement. Et nous avons pu donner une explication assez exacte des phénomènes en admettant pour ces différentes cathodes :

1°) la dissociation moléculaire et la libération des atomes métalliques du composé,

2°) leur diffusion de l'intérieur de la cathode vers la surface,

3°) leur émission électronique à la surface de la couche.

Nous savons bien que beaucoup de points sont encore à élucider, mais nous serions heureux si, par ces quelques années d'études industrielles, nous avions pu jeter quelque clarté sur cette question du fonctionnement intime des cathodes.

Nous le serions d'autant plus si nous avons donné quelques éléments nouveaux de recherches à ceux qui travaillent dans les laboratoires scientifiques et qui, de ce fait, ne peuvent pas, comme nous l'avons fait, saisir des phénomènes sur un grand nombre d'échantillons et assister aux différentes opérations délicates qu'exige la fabrication d'une lampe de T.S.F.

BIBLIOGRAPHIE.

Les articles et ouvrages consultés sont :
The termionic Emission de RICHARDSON.
Levis R. Koller, Physical Review N° 5 1925.
Joseph A. Baker, Physical Review 15 novembre, 1929.
V.C. Maccnabb J.O.S.A. & R.S.I., Juillet1929.
E.F. Lowry Physical Review, Juin 1930.
N.C. Beese, Physical Review, Octobre 1930.
Edgar R. Wagner, Electronics, Juillet 1930.
A. Gehrts, Zeitschrift für Technische Physik, N° 7 1930.
A. Reimann et R. Murgoci, Philosophical Magazine and Journal of Science, Mars 1930.
Researches of the Electrotechnical Laboratory.
Ministry of communications Tokio Japan, par Yuziro Kusunose.
Heinrich Lange, Jahrbuch für Hochfrequenstechnik, Sept. 1925.
H.N. Partridge Electronics, Juillet 1930.
Van der Pol, Jahrbuch der drahtlosen.
Telegraphic and telephonie Heft. 5 1925.
La technique du vide de Dunoyer.
La lampe à trois électrodes à gutton.
Ionisation et Résonance des gaz et des vapeurs de Léon Bloch.
La théorie des Quanta et L'atôme de Bohr de Léon Brillouin.
La Physique moderne de l'Electron de Boutaric.
Cours à l'école supérieure d'Electricité de Jouaust.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE I.

Exposé d'ensemble.

PAGES

A. Considérations générales 7
B. Généralités sur la constitution de la matière 10
C. Généralités sur l'émission électronique dans les lampes diodes et triodes 12
D. Résistance interne et pouvoir amplificateur 19
E. Calcul des cathodes : diodes et triodes 23
F. Influence du vide 27
G. Emissions secondaires de grille et de plaque. 30

CHAPITRE II.

Cathode à tungstene.

A. Généralités 39
B. Processus d'émission 42
C. Durée d'une cathode eu tungstène 45
D. Lampes d'émission à tungstène 48
Lampes de 20 Kws à circulation d'eau.

CHAPITRE III.

Cathode à base de thorium.

A. Généralités 53
B. Traitement du filament thorié 55
C. Processus d'émission 58
D. Plage de fonctionnement normal 62
E. Carburation 64
F. Action des gaz 68

CHAPITRE IV.

Cathodes à oxydes rapportés.

A. Généralités 75
B. Constatations expérimentales 76
C. Action secondaire des supports 79
D. Exposé des diverses théories émises 80
E. Théorie proposée 88

CHAPITRE V.

Cathodes dites : au baryum.

A. Généralitée 97
B. Azothydrate de baryum 99
C. Préparation du filament qui servira de cathode 103
D. Pompage du tube 104
E. Traitement de la cathode pour qu'elle émette 105
F. Effets du traitement 107
G. Processus d'émission 113
H. Action des gaz 119

CHAPITRE VI.

Cathodes à chauffage indirect.

. 123

CHAPITRE VII

Autres cathodes

. 129

Conclusion

. 133

Bibliographie

. 134

Vu ; Bon à imprimer
Le Président,
J. MERCIER.

Vu,
Le Doyen,
J. CHAINE.

Vu et permis d'imprimer
Bordeaux, le 21 Mars 1936.
Le Recteur,
A. TERRACHER.